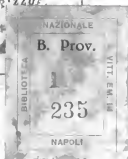




FONDO PIZZOLI



515 72

B. Prov.

IV

235

ÉLÉMENTS
DE GÉOLOGIE
ET
D'HYDROGRAPHIE.

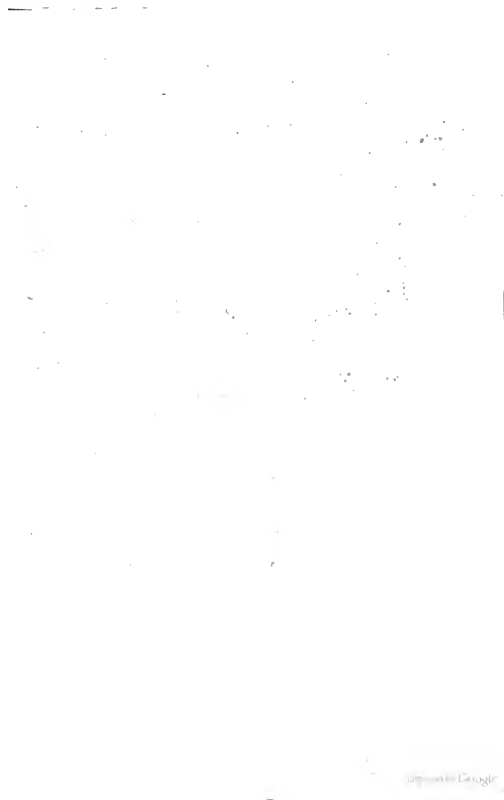




Fig. 58.



Les organismes de la -Période jurassique!

618632.

ÉLÉMENTS DE GÉOLOGIE

ET
D'HYDROGRAPHIE



OU

RÉSUMÉ DES NOTIONS ACQUISES SUR LES GRANDES LOIS DE LA NATURE;

FAISANT SUITE ET SERVANT DE COMPLÉMENT AUX ÉLÉMENTS DE GÉOGRAPHIE
PHYSIQUE ET DE MÉTÉOROLOGIE;

Par H. Lecoq,

PROFESSEUR D'HISTOIRE NATURELLE DE LA VILLE DE CENON-POISSON, CONSERVATEUR DU CABINET DE MINÉRALOGIE
DE LA MÊME VILLE, L'UN DES ADJUTÉS DES VUES ET CORPES GÉOLOGIQUES DU DÉPARTEMENT DU SUD-DE-TOUR,
MÉCANIQUE DES ANNALES SCIENTIFIQUES, LITTÉRAIRES ET INDUSTRIELLES DE L'AFRIQUE, ETC.

AVEC HUIT PLANCHES GRAVÉES.



BRUXELLES,
SOCIÉTÉ TYPOGRAPHIQUE BELGE,
AD. WAHLBACH ET COMP^{te}.

PARTIE SCIENTIFIQUE, H. DUMONT, GÉRANT.

1839.

INTRODUCTION.

Les *Eléments de Géologie et d'Hydrographie* que je publie aujourd'hui sont la suite et le complément des *Eléments de Géographie physique et de Météorologie* qui ont paru en 1836. Ces deux ouvrages, quoique indépendants l'un de l'autre, peuvent être réunis, et forment ensemble un cours de Géographie physique, que je me suis efforcé de rendre aussi complet que peut le permettre l'état actuel de nos connaissances sur un sujet si vaste et si important.

Aucun ouvrage ne contient encore, dans un cadre convenablement étendu, l'ensemble des notions acquises sur l'histoire de la terre et sur les grands phénomènes de la nature; et pourtant c'est par cette étude qu'il conviendrait de commencer presque toutes les autres. Parmi les connaissances humaines, il n'en est pas qui soient plus capables de développer notre esprit, d'exercer notre jugement, de frapper notre intelligence, tout en nous rappelant à chaque instant la puissance infinie de la Divinité. Cette étude nous montre la terre sous un point de vue tout différent de celui sous lequel nous avons l'habitude de l'envisager; elle nous rend religieux, en élevant notre esprit à des considérations d'un ordre supérieur. Elle n'est point, comme on l'a dit quelquefois, le *roman* de la nature, mais son *histoire*, avec ses dates, ses événements, ses révolutions, écrits en caractères plus saillants et plus durables que ceux qui retracent des circonstances analogues dans les annales des peuples. Ce sont ces caractères que j'ai essayé d'expliquer

dans le cours de cet ouvrage, auquel j'ai consacré de longues années de travail. C'est après avoir beaucoup lu et beaucoup médité, que j'ai osé l'entreprendre, sachant très-bien qu'il faut, pour traiter un tel sujet, des connaissances à la fois profondes et variées, que je suis loin encore d'avoir acquises. Je ne regretterai pas le temps que j'ai passé à la rédaction de ce volume, si sa lecture peut inspirer à quelques personnes le désir d'étudier les sciences naturelles, et surtout la Géologie, qui est le résumé de toutes les autres.

Pénétré de cette pensée, que beaucoup de personnes, et notamment les gens du monde et les jeunes gens, n'osent souvent aborder les sciences à cause des termes nombreux et de l'appareil pédantesque dont on les entoure, j'ai éloigné autant que j'ai pu les dénominations scientifiques et les difficultés du langage. Un vocabulaire, placé à la fin de l'ouvrage, explique celles dont je n'ai pu éviter l'emploi.

Je me suis efforcé d'employer un style clair et concis, que j'ai tâché de mettre à la portée de toutes les intelligences, en descendant dans de nombreux détails que des personnes instruites me reprocheront peut-être, mais que j'ai crues nécessaires pour celles qui commencent l'étude des sciences, ou qui étudient seules, loin des grands foyers d'instruction et privées des ressources des bibliothèques.

Celles-là me sauront gré sans doute d'être entré dans des explications dont elles pourront souvent vérifier elles-mêmes l'exactitude.

Un ouvrage élémentaire offre toujours de grandes difficultés, et il y a peut-être de la témérité à entreprendre aujourd'hui un travail de ce genre sur la Géologie. Cette étude, plus cultivée que toutes les autres, est actuellement dans un état de transition qu'il est difficile de saisir, et ses bases n'ont pas encore acquis toute la stabilité qu'exigent les sciences exactes.

J'ai divisé ces éléments en deux parties : l'*Hydrographie* et la *Géologie*.

Dans la première, je me suis occupé des eaux d'une manière générale. Après avoir étudié, dans la Géographie physique, les différents phénomènes produits par les vapeurs qui se groupent et se condensent pour former les nuages, la pluie et tous les météores aqueux, je reprends l'eau à son arrivée sur la terre et à sa sortie du sol, sous le nom de *sources* et de *fontaines*. Puis viennent ensuite les cours d'eau, leurs chutes ou cascades, les marais, les lacs et leurs divers phénomènes. Enfin, comme les eaux viennent toutes se rendre dans l'Océan, leur réservoir commun, l'étude des mers suit naturellement celle des fleuves qui les alimentent. Cette partie de l'ouvrage est terminée par l'histoire des glaces, des glaciers et des glaces polaires, ou de l'eau solide considérée sous ses divers états.

La seconde partie, plus importante que la première, est entièrement consacrée à la Géologie. Après avoir longtemps réfléchi à l'ordre le plus convenable à la distribution des matières traitées dans cette partie, j'ai cru qu'il fallait adopter un ordre différent de celui qui a été suivi dans la plupart des ouvrages de ce genre.

En effet, la Géologie ne fut pendant longtemps qu'un assemblage d'hypothèses plus ou moins ingénieuses, sous lesquelles on cherchait à faire plier le petit nombre de faits observés. Chacun se croyait en droit de publier une théorie de la terre, et quand on reconnut l'incompatibilité de ces divers

systèmes avec les lois immuables de la nature, cette science perdit de son crédit et fut reléguée près de l'astrologie, comme un des nombreux résultats de l'égarement de notre esprit.

Alors commença une seconde période d'études toutes différentes des premières et beaucoup plus rationnelles, qui auraient dû précéder les brillantes théories de l'époque antérieure. Alors on observait les faits, on analysait les roches, on recherchait la superposition réelle des terrains, on notait l'inclinaison et la direction de leurs couches, et cette science toute positive, créée, en quelque sorte, par les mineurs allemands, devint la véritable Géologie, qui ne fut plus la science de la terre et de sa création, mais celle des roches et des terrains.

En cela, comme en beaucoup d'autres choses, on était passé d'une extrémité à l'autre, sans s'arrêter au terme moyen. Les ouvrages de Géologie publiés pendant ces deux périodes si opposées, se ressentent nécessairement des différences qui les caractérisent : dans les uns, des hypothèses; dans les autres, des faits sans théorie et sans liaison. Ce n'est que dans ces derniers temps que l'on a senti toutes les difficultés que l'on éprouve à apprendre une science dont tous les faits sont épars et indépendants, et l'on est revenu graduellement à une méthode moyenne, qui est aussi celle que nous avons adoptée.

Il y avait encore un choix à faire dans la manière dont les faits, liés par des théories, devaient être présentés. Il semble naturel d'offrir les faits d'abord et la théorie ensuite, ou, ce qui revient au même, de s'occuper en premier lieu des résultats et ensuite des causes. J'ai cru cependant que la Géologie était assez avancée maintenant pour suivre une marche opposée, car les mêmes causes, légèrement modifiées, produisent quelquefois des résultats

tout à fait différents, que l'on peut, en quelque sorte, prévoir par une étude préliminaire des forces qui leur donnent naissance; et si cette marche est mauvaise, comme nous l'avons reconnu tout à l'heure, pour faire des progrès rapides dans une science qu'il faut créer, on est obligé de convenir qu'elle est la meilleure et la plus courte pour communiquer des faits acquis et pour apprendre une science toute faite.

J'ai donc cru devoir donner beaucoup plus d'importance aux causes qu'aux effets, et j'ai trouvé dans cette manière d'envisager la Géologie un autre avantage: c'est de rendre cette science beaucoup plus attrayante et plus facile, considération tout à fait secondaire dans la plupart des cas, mais importante pour un livre élémentaire, destiné à propager une science et à répandre le goût de son étude.

Après quelques considérations générales sur la forme extérieure du globe, sur les vallées et les montagnes, sur les roches et les débris organiques qu'elles renferment, sur les cavernes et les courants qu'elles traversent, j'ai abordé immédiatement la grande question des forces actuellement agissantes sur notre planète. Ces forces sont de deux sortes: les unes, extérieures, ont pour cause première la chaleur solaire, qui produit les vents, l'évaporation et par suite les pluies et les cours d'eau; les autres, intérieures, dépendent du feu central inhérent au globe que nous habitons, source incessante de perpétuels changements et de continuelles actions.

Ces deux forces correspondent, comme on le voit, aux actions *neptuniennes* et *vulcaniques*, adoptées de tout temps, et qui ont inégalement contribué à la formation de la croûte du globe.

Dans l'étude de ces forces, j'ai toujours examiné en premier lieu leur puissance actuelle; et remontant de cette époque contemporaine vers les temps antérieurs,

j'ai cherché à prouver que tous les grands phénomènes qui se sont passés sur la terre, sont dus à ces mêmes forces, dont l'intensité était alors en rapport avec l'énergie des causes qui les ont produites. J'ai donc successivement passé en revue l'action mécanique de l'air et celle des cours d'eau, qui arrachent aux continents de nombreux débris qu'ils déposent ailleurs, créant ainsi de nouveaux terrains aux dépens de ceux qu'ils détruisent, comblant des bassins ou élevant des deltas à l'embouchure des fleuves. J'ai tâché d'expliquer l'action lente, mais séculaire, des flots de l'Océan qui corrodent leurs rivages et abandonnent plus loin de vastes plages de galets, ainsi que celle des cours d'eau souterrains, qui formèrent autrefois les cavernes à ossements.

A ces causes puissantes de destructions et de créations, viennent se joindre de nombreuses actions chimiques, dont les unes, généralement dues à l'eau chargée de différents principes, sont sans cesse occupées à détruire, tandis que d'autres, comme la nitrification, la cristallisation aqueuse, le dépôt des concrétions et des stalactites, les remplacements ou épigénies, ajoutent continuellement aux terrains préexistants.

Les plantes et les animaux, en parcourant les différentes phases de leur existence, offrent aussi des phénomènes qui ont une influence marquée sur la formation des terrains, car nous voyons les végétaux former des couches puissantes de charbon de terre, de tourbe et de lignites, et les polypiers saxigènes élever des îles tout entières qu'ils entourent de dangereux récifs.

Les forces qui dépendent de la chaleur centrale et qui paraissent bien plus puissantes que les précédentes, occupent presque entièrement la seconde partie des *Éléments de Géologie*. Il était naturel de s'occuper d'abord de cette chaleur cen-

trale et d'en étudier ensuite les nombreux effets. J'ai commencé par les eaux minérales, les geisers, les lagonis et les dégagements de gaz, restes de l'ancienne puissance qu'exerçait sur la croûte peu épaisse de la terre son noyau encore incandescent. Vient ensuite l'histoire des tremblements de terre, puis l'ensemble des phénomènes volcaniques considérés dans toute leur étendue. L'importante question des soulèvements est traitée immédiatement après celle des volcans et des tremblements de terre. Ces grands mouvements intérieurs n'ont pu s'opérer sans que des actions chimiques, d'un ordre tout à fait différent des premières, n'aient aussi exercé une grande influence dans la composition des terrains. Tels sont les actions de contact et la dolomisation, les phénomènes de refroidissement et de liquation, l'apparition des filons et le dépôt des minerais dans les fractures des roches.

C'est seulement après l'examen détaillé de ces forces agissantes que j'ai placé l'histoire des terrains, commençant par le terrain primaire, qui forme la base de tous, et passant successivement aux terrains de sédiment qui l'ont recouvert, aux roches d'épanchement qui l'ont percé.

Enfin, j'ai terminé ce travail par des considérations générales sur la vie organique, sur le développement successif des animaux et des plantes, et sur les relations qui existent entre les différentes périodes géologiques et les phases successives de l'organisation.

On remarquera que, dans tout le cours de cet ouvrage, j'ai tâché de lier la plupart des faits à quelques vues d'ensemble qui aideront certainement à les retenir. J'ai présenté, chaque fois que cela m'a paru utile, des considérations générales sur les principaux sujets, afin de rappeler les observations précédentes et de réunir en un seul faisceau les observations nombreuses qui constituent la science de la terre.

Quant aux idées émises dans ces divers résumés, je n'y attache aucune importance; je crois cependant qu'elles sont basées sur les faits, et que, sous ce rapport, elles méritent une certaine confiance; mais d'autres faits viendront en détruire une partie, ou du moins les modifier, en sorte qu'on doit les regarder comme un lien nécessaire pour maintenir le faisceau de nos connaissances, et qui n'est peut-être pas celui qui atteint le mieux son but.

Je répéterai ici ce que j'ai dit ailleurs, et ce que l'on doit dire quand on publie un livre élémentaire : c'est que les faits ne m'appartiennent pas, et que je les ai puisés partout où j'ai pu les rencontrer, choisissant autant que possible ceux qui ont été rapportés par des géologues consciencieux, qui cherchent la vérité partout, et qui préfèrent l'avancement de la science à des considérations d'un intérêt privé.

Clermont-Ferrand, le 18 octobre 1837.

H. LECOQ.

ÉLÉMENTS DE GÉOLOGIE

ET

D'HYDROGRAPHIE.

Première Partie.



DE L'HYDROGRAPHIE.

CHAPITRE PREMIER.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

Le globe que nous habitons, considéré d'une manière isolée et indépendante de l'atmosphère qui l'environne, nous offre encore des phénomènes du plus haut intérêt, dont l'examen formera la matière de cette partie; mais avant de pénétrer dans l'intérieur de la terre, avant de chercher à démontrer les grandes lois qui ont présidé à sa structure et aux nombreuses altérations qu'elle a subies, jetons d'abord un coup d'œil sur sa surface, et examinons les grands traits qui la caractérisent.

Cette surface est, en grande partie, recouverte d'une couche d'eau très-considérable, du milieu de laquelle s'élèvent des terres plus ou moins étendues. Si l'espace émergé est

très-grand, on lui donne le nom de *continent*; s'il l'est beaucoup moins, c'est une *île*; en sorte que toutes les parties solides de la terre, qui se montrent au-dessus de la vaste couche d'eau qui l'enveloppe, reçoivent l'une ou l'autre de ces deux dénominations, et le bain immense qui les environne, celui de *mer*.

Le rapport des parties *émergées* à celles qui sont submergées est à peu près comme 2 est à 5. Les continents et les îles d'un côté, les mers de l'autre, ont entre eux de nombreux rapports de position et empiètent plus ou moins les uns sur les autres. Dans tous les cas, la ligne sinueuse qui les réunit a reçu le nom de *côtes* ou *rivages*, bien qu'on la dé-

signe sous le titre de *plages* quand les terres descendent en pente douce sous les eaux, et de *falaises* quand elles s'élèvent brusquement au-dessus d'elles.

Tantôt des parties de continent s'avancent dans la mer et y forment des *presqu'îles* ou *péninsules* que l'on appelle *caps*, ou *promontoires* s'ils ont peu d'étendue ou s'ils offrent une falaise élevée au-dessus des flots, tandis que la partie qui rattache la péninsule au continent est un *isthme*. D'autres fois, ce sont les mers qui empiètent sur les continents et qui forment de vastes bassins, tout entourés de terres, et que l'on nomme pour cette raison *méditerranées* (mers). Elles ne communiquent alors à la grande masse d'eau que par un canal rétréci que l'on nomme *détroit*. Si l'ouverture est plus large, et par conséquent le bassin moins fermé, moins profond, c'est un *golfe* s'il appartient à un continent, ou une *baie* s'il est situé dans une île. Les marins, qui ont bien plus d'intérêt que le géographe à connaître les lieux où les vaisseaux peuvent se trouver abrités, distinguent encore sous les noms de *port*, *anse*, *rade* les divers festons ou découpures des rivages. L'eau, cherchant toujours à se mettre en équilibre, il en résulte que la surface des mers est sensiblement plane, et la moyenne élévation de l'eau sur les rivages forme l'horizon ou la ligne d'où partent les géomètres pour mesurer les hauteurs et les profondeurs sur la petite échelle verticale que Dieu nous a permis de connaître. Ainsi, quand on veut indiquer la hauteur d'une île, l'élévation d'une montagne, la mesure a pour base le niveau de la mer comme celle qui indique la profondeur des eaux ou la dépression du sol.

Les îles, que l'on peut considérer comme de petits continents dispersés au milieu de la mer, ont quelquefois une très-grande étendue et une forte élévation; d'autres fois, elles sont très-petites, atteignent à peine la surface de l'eau ou restent même cachées dans les flots; ce sont alors des *écueils* ou des *bancs*, dénomination distincte pour les marins, qui donnent généralement le premier de ces noms à des rochers durs, sur lesquels les vaisseaux peuvent se briser, tandis qu'ils réservent celui de *banc* pour les amas de sable ou les matières peu cohérentes sur lesquelles ils vien-

uent parfois échouer. Enfin, quand les îles se groupent et se réunissent de différentes manières, on donne à l'ensemble le nom d'*archipel*. On voit de suite qu'un archipel est l'indice d'une grande étendue de terre submergée, ou d'un groupe de montagnes sous-marines dont les sommets viennent former des îles.

Revenons maintenant à la partie émergée du globe, c'est-à-dire à la surface des îles et des continents, et voyons quels sont les phénomènes hydrographiques qui s'y passent. Une surface aussi étendue que celle des mers, entièrement couverte d'eau, et continuellement exposée à l'ardeur du soleil, doit nécessairement donner lieu à une grande évaporation; et nous avons vu, en nous occupant de météorologie, comment la vapeur d'eau élevée dans l'atmosphère s'y condensait et donnait naissance à une foule de météores aqueux qui, tous, ramenaient sur la terre l'eau qui s'en était éloignée.

L'eau qui retombe à la surface des mers se confond à l'instant avec celle qui remplit leur bassin; mais il n'en est pas de même de celle qui descend sur les parties émergées.

Si des montagnes s'élèvent jusque dans les nues, si des nuages s'abaissent jusqu'au niveau des plaines, les vapeurs sont bientôt absorbées et disparaissent; si la neige tombe sur le sol; elle se fond et se transforme en eau, ou bien elle reste congelée sur le sommet des montagnes, ou autour des pôles de la terre, et y forme d'immenses glaciers; mais enfin la partie inférieure de la glace fond, tandis que la partie supérieure se charge de nouvelles couches de neige.

Le plus souvent l'eau tombe sous forme de pluie et se répand sur toutes les parties des continents. Quelle que soit la manière dont cette eau revient sur la terre, elle se divise de suite en trois parties, dont les proportions relatives varient singulièrement par une foule de circonstances qui tiennent à la nature du sol, à la température de l'air, et à l'état particulier de l'eau qui se précipite sur la terre.

Une partie de cette eau s'évapore sur-le-champ.

Une autre portion glisse à la surface du terrain, ruisselle en suivant les pentes, et

prendre le nom d'eaux sauvages : ce sont celles que l'on voit couler sur le sol après une pluie abondante.

La dernière partie s'infiltre dans les terres et les rochers qui composent l'extérieur de notre planète. Elle en suit les fissures, pénètre à des profondeurs variables, filtre à travers une foule de matériaux divers ; ses filets, se réunissant, se rassemblent entre des couches de terrain, et viennent ensuite jaillir dans des lieux dont le niveau est inférieur à ceux d'où elles sont parties ; telle est l'origine des sources. Le liquide qui s'en épanche, recevant au besoin les eaux sauvages, donne naissance aux ruisseaux qui, réunis, forment les rivières et les fleuves. Ces trois dénominations, qu'il est impossible de définir nettement, se confondent sous le nom général de cours d'eau. Le point de jonction de l'eau et du sol se nomme *rise*, rarement *riogo*, et jamais *côte*, et l'on distingue toujours dans un cours d'eau la *rise droite* et la *rise gauche*, que l'on détermine facilement en supposant que l'on est à la source et que l'on regarde couler l'eau. Ces rives peuvent être escarpées comme les falaises, ce sont alors des *berges*, ou bien s'adoucir lentement comme les plages ; et si dans ce cas on leur donne un nom particulier, c'est celui de *talus*. Le lit d'une rivière ou d'un fleuve est l'espace que cachent ordinairement ses eaux. Le cours des rivières, des fleuves et des ruisseaux est souvent sinueux ; leur vitesse est plus ou moins grande suivant la pente du sol, et parfois on les voit couler dans des ravins où ils forment des *torrents*, ou franchir des différences de niveau plus ou moins marquées. De là les *cascades*, les *rapides*, les *sauts*, les *cataractes*, qui ne sont que des modifications de notre langue, pour exprimer quelques différences peu importantes en géographie physique ; ainsi on appelle *cascade* la chute d'un ruisseau ou d'une rivière ; *saut*, celle d'un fleuve ou d'une masse d'eau considérable ; *cataractes*, une série de chutes peu élevées et rapprochées ; et *rapide*, un abaissement successif dans le lit d'une rivière ou d'un fleuve, qui détermine un cours rapide et saccadé, sans pourtant que l'eau abandonne le rocher sur lequel elle s'épanche en glissant.

Les cours d'eau, en arrivant dans des

lieux qui sont horizontaux, peuvent s'y étendre et donner naissance à des *marais*, quoique ceux-ci résultent plus souvent des suintements qui s'échappent du sol, de la fonte des neiges dans les montagnes, ou de la stagnation de l'eau des sources.

Si le sol, au lieu de présenter une surface horizontale, offre une dépression, l'eau s'y rassemble, s'y accumule, et y produit un *lac*, réservoir plus ou moins étendu, rempli par des eaux douces ou des eaux salées.

Les cours d'eau sont très-nombreux sur la plupart des continents et sur toutes les îles d'une certaine étendue. Ils occupent ordinairement le fond de bassins particuliers qui s'ouvrent les uns dans les autres. Ainsi toute l'eau qui tombe sur un certain espace, se rend dans un ruisseau qui occupe la partie la plus basse de cet espace ; près de là celle qui tombe sur le sol s'écoule dans un autre ruisseau, et la ligne nommée *arête*, qui sert de partage à ces eaux, est la limite de deux petits bassins hydrographiques. Un nombre plus ou moins grand de ces petits bassins vient s'ouvrir dans celui d'une rivière qui les réunit tous ; et enfin, plusieurs rivières se réunissent encore, et vont, sous le nom de *fleuves*, couvrir de vastes plaines qu'elles submergent, et font ainsi la *mer*, immense bassin qui les réunit toutes. Le point de départ de l'eau est la *source*, son arrivée dans la mer l'*embouchure* du fleuve, chaque jonction de cours d'eau est un *confluent*.

On voit par ce qui précède que les parties émergées du globe offrent quelques points inondés, comme les grands lacs, les méditerranées, et de longs courants d'eau, qui sillonnent leur surface ; et comme par une sorte de compensation, les parties submergées présentent des îles et des presqu'îles, qui établissent ainsi un bien plus grand nombre de points de contact entre la terre et l'eau.

Cette dernière forme donc autour du globe une couche percée çà et là par les îles et les continents. Le bassin des mers et les grands lacs en contiennent en réserve la majeure partie, tandis que l'autre est mise en circulation par la chaleur qui s'y combine, et l'élève en vapeur dans les hautes régions où elle l'abandonne, et lui permet de redescendre, travail immense de la nature, invisible à nos

yeux, auquel la multitude n'a peut-être jamais songé, et d'où dépend cependant notre prospérité agricole et par suite notre existence¹.

Laissons maintenant les continents, pour nous occuper seulement de l'eau qui baigne leurs rivages ou qui sillonne leur surface.

Nous allons l'étudier sous ses différents gisements, car on la rencontre sous trois états dans la nature :

1° Sous forme de gaz ou de vapeurs ; 2° à l'état liquide ; 3° en masses solides et cristallisées.

À l'état de vapeurs, nous avons étudié ses caractères dans l'*atmographie* ; nous avons vu comment elle pouvait passer dans l'air de l'état gazeux à l'état liquide et à l'état solide. Nous n'avons plus maintenant qu'à nous occuper de l'eau liquide et de l'eau solide à la surface du globe ; nous commencerons par l'examen de ses caractères.

PROPRIÉTÉ DE L'EAU.

L'eau à la température et à la pression ordinaire, et lorsqu'elle est pure, ce qui arrive rarement dans la nature, est un liquide inodore, insipide, incolore, se réduisant en vapeurs à toute espèce de température, mais bouillant à celle de 100 d. centigrades ; elle se solidifie au-dessous de 0, et cristallise alors, en affectant une forme que l'on rapporte au prisme hexaèdre régulier ou au système rhomboïdal. Un centimètre cube d'eau, au maximum de densité, pèse 1 gramme ; mais il est à remarquer que ce maximum a lieu à 4 degrés au-dessus de 0, et que l'eau ne suit pas la règle générale par laquelle les corps occupent d'autant plus d'espace qu'ils renferment plus de chaleur. L'eau à l'état de

¹ Nous rapportons ici une remarque de Leslie qui, sans rien ajouter à nos connaissances, encore si imparfaites, sur les causes de l'évaporation, nous signale dans ce phénomène un développement de force mécanique dont l'immensité frappe l'imagination, surtout lorsqu'on réfléchit à la manière silencieuse avec laquelle la nature l'opère.

Supposons que l'eau enlevée annuellement au globe, par voie d'évaporation, soit égale, en chaque climat, à la quantité de pluie qui y tombe, cette eau évaporée se dissémine dans l'atmosphère à toutes les hauteurs. On opérera une sorte de compensation entre les extrêmes de ces mouvements ascensionnels, en concevant par là pensée que l'eau évaporée s'est élevée ou s'est arrêtée tout entière à

une certaine hauteur moyenne ; l'évaporation annuelle se trouvera ainsi représentée, dans ses effets mécaniques, par une masse d'eau connue, élevée verticalement d'un nombre également connu de mètres. Mais le travail de cette nature, qu'un homme peut faire dans l'année, a été déterminé. Eh bien ! la comparaison des deux résultats montre que l'évaporation représente le travail de 80 millions de millions d'hommes. Supposons que 800 millions soit la population du globe, que la moitié seulement de ce nombre d'individus puisse travailler, et la force employée par la nature dans la formation des nuages sera égale à deux cent mille fois le travail dont l'espèce humaine tout entière est capable. (ARAGO, *Annuaire du bureau des longitudes*, 1855.)

glace tient donc plus de place qu'à l'état liquide. On en a des exemples journaliers par la rupture des vases qui la contiennent quand elle vient à se congeler.

L'eau n'est pas un corps simple, comme on l'a cru longtemps ; elle est composée de deux éléments gazeux, qui se condensent en se combinant : ce sont l'hydrogène et l'oxygène. Un volume d'oxygène et deux volumes d'hydrogène représentent la composition de l'eau, et comme ces gaz peuvent se trouver libres, et se combiner par l'étincelle électrique, il en résulte qu'il peut se former encore de l'eau dans la nature.

Nous venons de voir que l'eau, en passant de l'état liquide à l'état solide, cristallise toujours ; mais les cristaux qui en résultent peuvent être plus ou moins réguliers. Ils offrent rarement des formes bien distinctes, quand ils se forment ailleurs que dans l'atmosphère. Le plus souvent l'eau se congèle irrégulièrement, et présente des formes accidentelles plus ou moins variées, que l'on peut aisément observer dans les glaciers naturels.

À l'état liquide, l'eau a la propriété de mouiller la plupart des corps et d'en dissoudre un grand nombre, aussi est-elle rarement pure ; car, en filtrant à travers les terres, elle se charge des principes solubles qu'elles contiennent, et lors même qu'elle ne peut rien dissoudre, elle entraîne en simple suspension une foule de corps étrangers organiques et inorganiques qui ne tardent pas à entrer en décomposition ou à se déposer suivant leur nature ; d'où résultent des produits nouveaux, qui apportent encore des modifications au liquide qui les recèle. Il n'y aurait guère que l'eau de pluie ou de neige qui pût être pure.

une certaine hauteur moyenne ; l'évaporation annuelle se trouvera ainsi représentée, dans ses effets mécaniques, par une masse d'eau connue, élevée verticalement d'un nombre également connu de mètres. Mais le travail de cette nature, qu'un homme peut faire dans l'année, a été déterminé. Eh bien ! la comparaison des deux résultats montre que l'évaporation représente le travail de 80 millions de millions d'hommes. Supposons que 800 millions soit la population du globe, que la moitié seulement de ce nombre d'individus puisse travailler, et la force employée par la nature dans la formation des nuages sera égale à deux cent mille fois le travail dont l'espèce humaine tout entière est capable. (ARAGO, *Annuaire du bureau des longitudes*, 1855.)

CHAPITRE DEUXIÈME.

DES SOURCES.

La majeure partie de l'eau qui s'infiltré dans l'intérieur du sol, traverse les fissures du terrain, abandonne les matières qu'elle tenait en suspension, gagne les lieux les plus bas, et s'en échappe en formant des sources. Souvent cette eau rencontre une couche imperméable, sur laquelle elle glisse sans pénétrer : elle s'y rassemble, suit sa pente, et forme une nappé souterraine, qui vient sortir à la base d'un coteau, ou sur le flanc d'une montagne. C'est donc dans les pays de plaines entourées de montagnes que les sources doivent se présenter le plus souvent. On en rencontre assez fréquemment plusieurs situées sur une même ligne et sortant du sol sur un même point ; elles indiquent dans ce cas le point de jonction de deux couches superposées.

On trouve des sources dans tous les terrains, mais on conçoit qu'elles peuvent être plus abondantes dans les terrains stratifiés que dans les autres. On en voit aussi beaucoup aux environs des volcans, mais elles présentent un caractère particulier, c'est de s'échapper à l'extrémité des coulées de lave, où elles forment parfois de magnifiques ruisseaux ; elles sont au contraire très-rares autour des volcans eux-mêmes ; car le sol qu'ils ont formé, composé de cendres et de sables plus ou moins scorifiés, livrent à l'eau un passage facile, qui lui permet de s'écouler, pour aller plus loin alimenter ces belles sources qui sont si communes dans l'Eifel, sur les bords du Rhin, et en Auvergne sur le bord de la Limagne.

L'élévation absolue des sources est très-variables, et en général on en trouve à toutes les hauteurs, quelquefois même bien au-dessus des terrains qui sembleraient devoir les alimenter ; on est même forcé d'admettre

pour quelques-unes d'entre elles, l'action de forces étrangères qui les élèvent au-dessus des niveaux qui leur donnent naissance. Ainsi, par exemple, à Ste.-Hélène, les fontaines coulent dans les lieux les plus élevés de l'île, et une d'entre elles en occupe précisément le sommet.

On trouve un exemple analogue près de Modène, et l'on pourrait en citer un très-grand nombre.

VOLUME DES SOURCES.

Les sources répandent à la surface des îles et des continents un volume d'eau très-considérable ; mais cette quantité de liquide sort de la terre d'une manière très-irrégulière, c'est-à-dire que certaines sources sont très-abondantes, et que d'autres le sont très-peu. Lorsque dans une contrée les fontaines sont nombreuses, ce qui arrive généralement dans les terrains composés de roches cristallisées, telles que les granites, les gneiss et les mica-schistes, le volume des eaux est peu considérable, et l'on conçoit en effet que des roches fissurées à fentes très-étroites, doivent laisser échapper à la fois une très-petite quantité de liquide. Si, au contraire, le terrain est formé de couches superposées ; si ces couches sont formées de roches tendres, arénacées, que l'eau peut facilement entraîner, ou de roches calcaires, dans lesquelles elle peut aussi pénétrer avec facilité, on voit alors des sources considérables, qui s'échappent de longues cavernes, et donnent immédiatement naissance à des rivières ou à de puissants ruisseaux. Telles sont plusieurs sources du Jura, telle est la fontaine de Vaucluse. Dans ce cas, les eaux qui pénètrent dans ces sortes de ter-

rains ne tardent pas de sillonner leurs roches peu solides, et de creuser successivement des canaux qui tendent toujours à se réunir aux plus anciens, qui sont les plus profonds. Il arrive alors dans le sein de la terre ce qui arrive à la surface ; c'est que les petits cours d'eaux vont toujours se jeter dans ceux qui sont plus considérables, et l'on peut regarder ces énormes sources comme des fleuves souterrains qui résultent de la réunion d'une infinité de ruisseaux.

DES FONTAINES JAILLISSANTES ET INTERMITTENTES.

Quelle que soit son abondance, l'eau des sources sort ordinairement de terre avec régularité, sauf quelques variations toutes occasionnées par les saisons, mais cette règle présente de nombreuses exceptions.

L'eau, comme nous l'avons vu, glissant sur une couche de terrain imperméable, peut imbibier une couche poreuse placée au-dessous de celle qui s'oppose à son infiltration, et un autre lit de matières imperméables peut se trouver placé sur cette couche imbibée, en sorte que l'eau est réellement emprisonnée. Si cette eau descend de montagnes élevées, si les couches au milieu desquelles elle se trouve enfermée, sont courbées et relevées sur le flanc des montagnes, comme l'indique la figure I, il est bien clair que cette eau, fortement comprimée, doit faire effort à la fois contre la couche inférieure qui s'oppose à son infiltration, et contre la supérieure qui arrête son épanchement au dehors. Si sur un point de la couche supérieure il existe une ouverture, l'eau s'en échappe avec force et jaillit presque toujours en dehors. Telle est l'origine des nombreuses fontaines jaillissantes, que l'on remarque en différents endroits.

M. Virlet en a observé un fort bel exemple au vieux château de Sozay, près Clamecy. La source est désignée par les habitants sous le nom d'*Abîme*, parce qu'effectivement on n'a pas encore trouvé sa profondeur. Elle sort, sans bouillonnement sensible, d'un puits circulaire de 10 à 12 pieds de diamètre, en effet très-profond, et traversant le terrain

jurassique qui constitue toute la contrée ¹.

Les sources du Loiret et de la Touvre en sont des exemples bien remarquables ; elles sortent en bouillonnant du milieu de gouffres profonds, qu'on regarde aussi dans le pays comme des abîmes sans fond, et fournissent des volumes d'eau assez considérables pour pouvoir porter de forts bateaux à leur origine.

On cite encore parmi les fontaines jaillissantes, celles de Moyse, que Monge a décrites. Elles sont situées près de Suez, au sommet de monticules de sables amenés par les vents ; telle est encore la belle source du banc de sable, de la plage d'Alvarado dans le golfe du Mexique. Ce banc de sable, qui depuis quarante ans a beaucoup augmenté par suite d'atterrissements successifs, forme une colline de 30 mètres de hauteur, au sommet de laquelle les habitants d'Alvarado, et les vaisseaux qui fréquentent ce port, viennent journellement chercher de l'eau de la source jaillissante, qui est douce et de bonne qualité.

On observe aussi un grand nombre de sources jaillissantes sous les eaux de la mer, et quelquefois même elles sont situées à une assez grande distance des côtes. Il y a peu d'années, un convoi anglais, sur lequel M. Buchanan se trouvait embarqué, rencontra, par un calme plat, dans la mer des Indes, une abondante source d'eau douce à 125 mille (36 lieues) du point de la côte le plus voisin ².

Une des plus belles sources jaillissantes dans la mer, est celle du golfe de la Spezia, décrite par Spallanzani. Elle s'élève du fond de la mer à sa surface, en y formant une espèce de bouton, ou plutôt de mamelon, de 20 à 25 mètres de diamètre sur trois à quatre décimètres de hauteur ; au centre de cette circonférence, on voit un grand nombre de jets verticaux, très-distincts quand la mer est calme, et qui ont une telle impétuosité, qu'il est très-difficile à un bateau de s'arrêter au centre du mamelon. L'abbé Spallanzani parvint cependant à fixer sa nacelle, pour y

¹ Lettre à l'Académie des sciences, séance du 30 juillet 1853.

² ARAGO, *Annuaire du bureau des longitudes*, 1835, p. 250.

faire quelques observations. Cette source est à 40 ou 50 mètres de distance de la terre, et à un mille environ de la Spezzia. La profondeur de l'entonnoir dont elle jaillit est de 14 à 15 mètres. Lorsque le plomb arrive dans le voisinage du fond, l'on sent trembler la corde à laquelle il est attaché; et comme on n'observe pas ailleurs ce tremblement, il est clair qu'en jaillissant, l'eau de la fontaine lui communique ce mouvement.

M. de Humboldt cite aussi plusieurs exemples de ce phénomène dont le plus curieux est celui qu'on observe dans la baie de Xagua, sur la côte méridionale de Cuba. « À deux ou trois lieues de la terre, des sources d'eau douce sortent du milieu de l'eau salée, et probablement par l'effet de la pression hydrostatique. Leur éruption se fait avec tant de force que l'approche de ces lieux fameux est dangereuse pour les petites embarcations, à cause des lames qui sont très-larges et se croisent en clapotant. Les navires côtiers approchent quelquefois de ces sources pour y puiser de l'eau qui est d'autant plus douce qu'on la puise à une plus grande profondeur ¹. » Le même auteur cite aussi les Cayos, petits îlots de l'île de Cuba, qui, presque tous, contiennent dans leur centre une mare d'eau douce nécessairement alimentée par des sources ². Les savants de l'expédition scientifique en Morée, ont rencontré plusieurs de ces sources jaillissantes, et l'on doit à MM. Virlet et Boblaye des détails fort intéressants sur ce phénomène. Cette contrée offre un grand nombre de bassins fermés, dans lesquels les eaux de pluie sont absorbées pour venir reparaitre à une distance plus ou moins grande. On donne à ces sources le nom expressif de *kefaloerisi* (têtes de sources), et plusieurs des fleuves des plus célèbres de l'antiquité n'ont pas d'autre origine. Les plus volumineuses de ces sources s'ouvrent sur le littoral ou dans les plaines, sur la couche horizontale que dessinent les anciens rivages. Telle est la position des sources de Lerne, de l'Erasinus, de Tyrnthe,

de Candia dans l'Argolide, et des magnifiques fontaines de Skala dans l'Ilélos; souvent elles se font jour au-dessous du niveau de la mer, comme celles que nous avons citées un peu plus haut. Pausanias avait déjà observé ce phénomène, et tout porte à croire que sa description se rapporte au fleuve sous-marin d'Anavolo (*Dine*), près d'Astros, comme le suppose M. Boblaye. On voit, par un temps calme, à 5 ou 400 mètres du rivage, les flots dessiner de grands arcs concentriques autour d'une partie très-hombée, et les sables bouillonnent sur une étendue considérable ³.

DES SOURCES INTERMITTENTES.

Il arrive aussi à un certain nombre de sources, et principalement à celles qui sont jaillissantes, d'offrir des mouvements d'intermittence bien marqués qui, selon toute apparence, sont dus à deux causes principales.

La première, est la présence de corps gazeux qui, étant forcés de sortir par la même ouverture que l'eau, remplissent pendant quelque temps l'orifice par lequel ils se dégagent et forcent le liquide d'attendre en le refoulant dans les conduits. Dès que les gaz sont sortis, l'eau arrive avec violence et reprend son cours ordinaire.

La seconde cause de l'intermittence des fontaines est tout à fait indépendante de celle que nous venons d'indiquer. C'est la présence de cavités souterraines dans lesquelles l'eau se rassemble, et qui se vide ensuite comme si on y adaptait un syphon.

Supposons, au milieu d'un terrain quelconque, une cavité C (fig. 1.) avec des fissures FFF qui viennent y conduire de l'eau. Cette eau s'y rassemble et remplit peu à peu cette cavité. Une fissure recourbée O S E communique avec l'extérieur et laisserait de suite échapper l'eau si elle avait la direction O E; mais elle fait un coude S qui s'élève au-dessous de la partie supérieure de la cavité. L'eau ne peut donc pas s'en échapper, mais quand elle a atteint la ligne d'élévation A B, elle coule par la branche du syphon qui, dépassant la ligne D D qui indique le fond de

¹ HUMBOLDT, *Tableaux de la Nature*, tom. I, p. 267.

² Idem, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. II, p. 255.

³ BOBLAYE, *Annales des mines*, 3^e série, tom. IV, p. 113, et *Voyage dans la Morée*.

la cavité, la vide entièrement. Il faut alors qu'elle s'emplisse de nouveau, jusqu'à la ligne A B, avant de se vider une seconde fois, et ainsi de suite. Il est facile de concevoir que les dimensions relatives de ces cavités et des fentes qui donnent issue au liquide, doivent faire varier à l'infini la durée de l'intermittence. On cite de ces fontaines dans une foule de localités.

Les plus célèbres de ces sources intermittentes sont sans contredit les Geysers d'Islande; mais comme, selon toute apparence, les singuliers caractères qu'ils nous offrent sont dépendants de forces particulières agissant encore dans l'intérieur du globe, nous reviendrons plus loin sur cet intéressant sujet d'études. Plin^e a cité la célèbre fontaine de Côme dans le Milanais¹, dont les intermittences sont d'une heure. La ville de Colmars en Provence en a une qui s'élève huit fois dans le même espace de temps. Celle de l'abbaye de Haute-Combe en Savoie, est située à 127 mètres au-dessus du lac du Bourget et tombe perpendiculairement de l'intérieur du Mont du Chat, par un canal qu'elle tapisse de concrétion calcaire. Les chutes ont lieu à peu près toutes les vingt minutes. Il semble cependant que les intervalles sont un peu plus longs pendant les sécheresses. Chaque éruption est accompagnée et suivie d'un bruit assez fort, dû au déplacement de l'air et à sa rentrée dans le canal. Près de là, à une petite distance de Chambéry, on cite la source intermittente du Puits-Gros, qui coule au lever et au coucher du soleil, à midi et à minuit; c'est-à-dire que ces intervalles sont de 5 à 6 heures, et semblent varier suivant les saisons. Son volume est très-considérable. Il y a aussi à Fronzanehes, dans le Languedoc, une source périodique dont l'accès retarde tous les jours de 50 minutes². Celle de Boulaigne, près Fressinet, à deux lieues de Villeneuve-de-Berg, dans les monts Coyrons, reste quelquefois vingt ans sans couler, puis elle donne de l'eau un, deux et trois mois, quelquefois davantage, puis elle s'arrête et reprend alternativement d'heure en heure, et

finit par cesser pour un laps de temps plus ou moins long. La source de Fontestorbe près Beleta, dans les Pyrénées, devient intermittente pendant les sécheresses. A l'époque où M. Daubuisson l'observa, elle augmentait de niveau pendant 10 minutes et coulait pendant une demi-heure, de manière à faire tourner un moulin; elle baissait alors pendant 35 minutes, puis augmentait encore. Les deux volumes d'eau aux époques extrêmes étaient comme 1 est à 10.

Il y a aussi des fontaines intermittentes dont les accès sont très-irréguliers; celle de Madame coule pendant 25 à 90 minutes, puis tarit tout à fait pendant 10 à 15 minutes; son fond reste à sec. Celle de Boulidou s'élève et s'abaisse plus de trente-six fois en 24 heures. Ces deux fontaines sont situées sur les bords du Gardon, et ont peut-être quelques rapports avec les crues de cette rivière.

Près de Phalsbourg, existe aussi une source intermittente, qui jaillit très-fortement pendant 15 minutes, puis cesse de couler pendant un temps à peu près égal, et reparait pour disparaître ainsi périodiquement d'une manière tout à fait régulière. L'eau en est potable et de bonne qualité³.

Il faut peut-être encore assimiler aux sources à la fois jaillissantes et intermittentes, certains *puits naturels*, que l'on désigne souvent sous le nom de *gouffres*, *cures*, *abîmes*, *entonnoirs*, etc., que l'on rencontre dans différents pays. Ce sont des cavités en forme de puits à parois plus ou moins lisses, à contours arrondis, et quelquefois irréguliers, et dont la profondeur est très-considérable. Ils sont souvent situés sur des plateaux, dans des plaines et même sur les flancs des montagnes. Ce sont de véritables puits naturels dans lesquels le niveau de l'eau varie beaucoup, au point même que, dans certains cas, elle déborde tout autour, et en si grande abondance, qu'elle inonde les environs. Tel est le *Frais-Puits*, près Vesoul (Haute-Saône). Lorsqu'il a plu abondamment pendant plusieurs jours de suite, l'eau s'en échappe en bouillonnant, et forme un véritable torrent qui s'épanche sur toute la contrée. C'est au point qu'en 1537, suivant Piganiol, la ville

¹ PLIN^e, liv. II, chap. 103.

² ASTRUC, *Histoire naturelle du Languedoc et de la Provence*.

³ J. ERMANN, *Institut*, 4^e année, n° 181.

de Vesoul, assiégée, fut miraculeusement délivrée par un débordement du Frais-Puits, qui en moins de six heures inonda toute la campagne.

De semblables gouffres ne sont pas rares dans le Jura, et, selon toute apparence, ils communiquent à des cavernes étendues; car souvent, dans leurs débordements, ils rejettent des poissons à la surface du sol; tandis que dans d'autres circonstances, jouant un rôle inverse, ils absorbent, comme les *Katathra* de la Grèce, les eaux qui séjourneraient sur un sol argilleux, et nuiraient singulièrement aux récoltes.

Une cause tout à fait indépendante de celles que nous venons d'indiquer, peut encore produire des fontaines intermittentes, ou du moins faire varier le niveau de leurs eaux, comme on l'observe quelquefois sur les bords de la mer. C'est l'action du flux et reflux dont les eaux de sources peuvent suivre le mouvement. Nous en expliquerons la cause en nous occupant plus loin des puits artésiens.

Enfin, l'écoulement des eaux, et principalement celui des fontaines intermittentes, est souvent accompagné de dégagements de gaz plus ou moins considérables; on voit ces gaz se dégager en grosses bulles, et on les entend siffler en sortant. Michaux rapporte qu'il a vu à Dixon Spring et à Northwill, dans l'Amérique septentrionale, des sources qui contenaient une grande quantité d'air, et qui toutes étaient intermittentes. Beaucoup de sources de nos climats se trouvent dans les mêmes circonstances, et il est bien certain que les eaux sortent souvent du sol parfaitement aérées. D'autres gaz, tels que l'acide carbonique, l'hydrogène sulfuré les accompagnent aussi fréquemment; mais les eaux dans lesquelles on les rencontre semblent appartenir à une classe particulière de phénomènes, et ce n'est qu'en étudiant les eaux thermales ou minérales, que nous nous occuperons de ces deux corps gazeux.

DE LA TEMPÉRATURE DES SOURCES.

Lorsque l'on plonge un thermomètre dans l'eau d'une source, on remarque qu'il s'arrête toujours au même point ou du moins que la colonne du mercure varie peu selon les sai-

sons et l'époque à laquelle on fait l'expérience. Il y a par conséquent une certaine constance dans cette température; mais s'il y a peu de variation quand on opère sur la même source, il y en a au contraire de fréquentes et de très-grandes quand on agit sur des fontaines différentes.

Sous ce point de vue, on peut diviser les sources en *froides* et *thermales*, et quoique cette division soit difficile à établir d'une manière tranchée, elle est, pour ainsi dire, consacrée par l'usage. Pour le moment, nous ne nous occuperons que des premières, car les sources thermales doivent vraisemblablement leur température élevée à des forces particulières, qui agissent encore dans l'intérieur du globe; ce sont des phénomènes qui se rattachent aux éruptions volcaniques et qui trouveront place plus loin avec les *Geyers* et les *Lagonis*. On voit d'après cela que la chaleur des eaux peut provenir de deux causes :

1° De la température qui règne dans les profondeurs du globe;

2° De celle qui agit à sa surface, c'est-à-dire de la chaleur solaire.

Ce que nous allons dire s'applique à celles qui nous offrent ce dernier caractère.

On peut admettre comme règle générale que la température des sources suit assez régulièrement, non la température de l'air extérieur qui varie à chaque instant, mais la température moyenne de l'année. Elle représente dans tous les cas la température du sol à une certaine profondeur. Si les sources ont leurs canaux souterrains près de la surface, les saisons ont une influence marquée sur la chaleur des eaux; mais dans le cas contraire, cette chaleur est constante et ne varie pas. On entend dire pourtant tous les jours, que l'eau des sources est chaude en hiver et froide en été; mais si l'on y réfléchit, on verra que c'est la température de l'air extérieur qui varie et qui nous sert de point de comparaison. Si nous passons de l'air échauffé à 30 degrés, comme cela arrive souvent en été, dans l'eau d'une source marquant seulement 12°, il est clair que cette eau nous paraîtra très-froide, mais si l'air est à 8 au-dessous de 0 et que la source conserve son degré $+ 12^{\circ}$, elle aura en plus la grande différence de 20 degrés et nous

paraîtra chaude. On éprouve les mêmes sensations en descendant dans les caves qui ont, comme les sources, une température constante, quand elles sont assez profondes.

On conçoit très-bien qu'il ne peut y avoir de sources au-dessous du point de congélation, mais immédiatement au-dessus, on en trouve à toutes les températures, depuis 0 jusqu'à 100 degrés, et alors elles se transforment en vapeurs, qui souvent même à cause d'une forte pression ont une température plus élevée; mais ces dernières appartiennent, comme nous l'avons dit, à la division des eaux thermales. On pourra presque toujours distinguer ces deux classes de sources en faisant attention à la température moyenne des lieux. Ainsi la température moyenne la plus élevée que nous connaissons, est celle de quelques lieux situés sous l'équateur, ou du moins entre les tropiques. Or, cette température n'excède nulle part 50°; par conséquent toute source dont la chaleur fait monter le thermomètre à plus de 50°, on pourrait même dire toutes celles qui atteignent cette élévation, sont des sources thermales, et doivent leur température à des causes tout à fait indépendantes des relations extérieures de notre planète. Mais, sous les zones tempérées où la température moyenne est bien moins élevée, sous le 43^{me} parallèle par exemple, où elle est ordinairement de 12 à 14°, une source qui ferait monter le thermomètre à 13° ou 16° serait une source thermale. Ainsi, connaissant la moyenne d'un lieu situé à une latitude quelconque, on pourra toujours assurer qu'une source dont la chaleur dépasse cette moyenne vient des profondeurs du globe, et n'est plus un phénomène qui appartient à la surface.

L'inverse n'est pas également vrai, c'est-à-dire qu'il existe quelques sources minérales dont la température est égale à la moyenne du pays; mais ces exceptions sont rares, et dans ce cas, la composition de ces eaux et les matières gazeuses qui les accompagnent suffisent ordinairement pour les faire distinguer.

La chaleur ordinaire des eaux de source entre le 43^{me} et le 50^{me} parallèle, est de +10 à +12°. Aussi l'on voit pendant l'hiver la neige qui fond partout autour d'elles, et la

verdure des plantes s'y conserve pendant les froids les plus rigoureux.

A mesure qu'on s'élève sur les montagnes, les sources se refroidissent comme l'air environnant; aussi n'est-il pas rare de voir dans les Alpes des filets d'eau qui marquent +1 ou +2 degrés seulement, et qui sont alimentés par la fonte des glaciers. Les sources de la Dordogne au Mont-Dore marquent rarement plus de +4 et sont alimentées par les brouillards qui viennent flotter autour du pic de Saucy. Les *Kephalorysti* de la Grèce, situés par 36 et 37° de latitude, ont une température moyenne de +17,3 à +18,3, qui s'accorde parfaitement avec la température moyenne que donne le calcul pour cette latitude. En sorte qu'au défaut d'observations météorologiques, les sources offrent un moyen de connaître la température, assez précis pour une foule de recherches dans l'étude de la distribution des êtres organiques à la surface du globe. Il faut avoir soin pourtant de tenir note de l'élévation au-dessus du niveau de la mer, car c'est une cause puissante de variation qu'il faut déterminer par l'expérience sous chaque latitude. Sous le 43^{me} parallèle, Ramond évalue le refroidissement de 1° dans l'eau des sources à 84 toises d'élévation.

COMPOSITION DE L'EAU DE SOURCE.

L'eau qui tombe sous forme de pluie ou de neige, est ordinairement pure; mais on conçoit très-bien qu'en traversant une certaine épaisseur de terrain, en ruisselant dans tous les interstices que présente le sol, elle doit se charger et quelquefois même se saturer de tous les principes solubles qu'il renferme; aussi l'eau de source n'est jamais pure. Il en est cependant qui ne renferment que des indices de matières étrangères; c'est celle qui provient de sources situées sous des courants de lave qui reposent eux-mêmes sur des terrains cristallisés. Celles qui sortent de ces derniers terrains sont aussi quelquefois très-pures; mais dans tous les sols calcaires ou de sédiment, l'eau contient toujours une certaine quantité de matières salines ou organiques, quelquefois assez forte pour la rendre impropre aux usages domestiques.

En nous occupant des eaux minérales, nous

énumérerons les diverses substances que l'on rencontre dans les sources; nous citerons pour le moment l'*hydrochlorate de soude* ou *sel marin*, qui existe pour ainsi dire dans toutes, en quantité quelquefois très-petite à la vérité, le *sulfate de chaux*, le *carbonate de chaux*, le *carbonate de magnésie* et le *carbonate de soude*.

Presque toutes les eaux de sources contiennent aussi de l'air atmosphérique, ou, pour parler plus exactement, un mélange d'azote et d'oxygène; car ces deux gaz ne se dissolvent pas également dans l'eau; l'oxygène y étant plus soluble s'y trouve en plus grande quantité, et l'air qui sort des eaux de sources échauffées, contient toujours plus d'oxygène que l'air atmosphérique. L'azote, qui se dégage en quantité très-variable d'un grand nombre de sources, n'est peut-être que celui qui provient de l'inégale dissolution des deux principes qui composent l'air atmosphérique en contact avec l'eau dans les conduits souterrains.

DE L'ORIGINE DES SOURCES.

Bernard de Palissy essaya l'un des premiers d'expliquer l'origine des sources, et il en savait presque autant que nous en savons aujourd'hui.

« Quand j'ai eu, dit-il, bien longtemps considéré la cause des sources des fontaines naturelles, et le lieu où elles pouvaient sortir, enfin j'ai reconnu directement qu'elles ne procédaient et n'étaient engendrées sinon des pluies ¹. » Il explique ensuite très-bien comment les eaux se réduisent en vapeurs, comment ces vapeurs se résolvent en pluie, et comment l'eau de la mer en s'évaporant s'enlève point de sel ².

Il explique enfin comment les sources se trouvent plutôt dans les montagnes que partout ailleurs. Il compare les roches dont elles sont formées à la charpente osseuse des animaux, qui les maintient dans une situation élevée, et il ajoute : « Ayant mis en ta mémoire une telle considération, tu pourras connaître la cause pourquoi il y a plus de fontaines et

rivières procédantes des montagnes, que non pas du surplus de la terre, qui n'est autre chose, sinon que les roches ex-montagnes retiennent les eaux des pluies comme ferait un vaisseau d'airain; et lesdites eaux tombantes sur lesdites montagnes, au travers des terres et fentes, descendent toujours et n'ont aucun arrest, jusqu'à ce qu'elles aient trouvé quelque lieu formé de pierres ou roches, bien contigu et bien condensé; et lors elles se reposent sur un tel fond, et ayant trouvé quelque canal ou autre ouverture, elles sortent en fontaines ou en ruisseaux et fleuves, selon que l'ouverture et les réceptacles sont grands. »

Les pluies ont en effet la plus grande influence sur la majeure partie des sources, surtout dans les pays des plaines, et il suffira pour s'en convaincre de rappeler les observations qui furent présentées, il y a quelques années, à l'Académie des sciences, par M. Fleuriau de Bellevue, et dans lesquelles il prouve la diminution des sources dans l'ancien Poitou et dans la Charente-inférieure ³.

C'est seulement depuis dix ans, et non pas depuis environ vingt ans, que date le phénomène dont il s'agit, phénomène qu'il attribue exclusivement à une diminution dans la quantité d'eau tombée pendant ce temps sous forme de pluie : quoique l'appauvrissement et la disparition des sources dans ce pays aient été pour lui une véritable calamité, les récoltes ne paraissent pas en avoir souffert. M. Fleuriau explique ce fait en faisant remarquer que la diminution annuelle de la pluie n'a pas porté également sur tous les mois. Les observations météorologiques sur lesquelles il se fonde, ont été faites à La Rochelle de 1777 à 1793, et dans le canton de Courçon, de 1810 à 1833 inclusivement. Ces observations ont été faites d'abord à 4 et ensuite à environ 12 mètres au-dessus du niveau de la mer. On a toujours employé le même udomètre qui est encore parfaitement intact. Le sommaire de ces observations jusqu'en 1827 est consigné dans les *Annales de chimie et de physique* de 1829.

La diminution sensible des pluies ne date que de l'année 1823. Les huit mois de février à septembre inclusivement ne recevaient à

¹ BERNARD DE PALISSY, p. 278, édition de Faujas.

² Idem, p. 279 et 280.

³ *Institut*, t. III, p. 259.

La Rochelle en général que des pluies médiocres, qui étant bientôt absorbées par l'action du solcil, des vents et de la végétation, ne pouvaient pénétrer assez profondément pour alimenter suffisamment les sources. En effet, la moyenne de ces huit mois n'a été que de 20 lignes $\frac{3}{10}$ par mois, dans les trente-deux années qui précèdent 1823, et que de 19 lignes $\frac{2}{10}$ dans les neuf dernières années, y compris 1835.

Les quatre mois d'octobre, novembre, décembre et janvier sont en quelque sorte les seuls qui puissent approvisionner les sources pour un certain temps, à raison du grand volume et de la longue durée de leurs pluies, ainsi que de la faible évaporation qui règne dans cette période de l'année. On a recueilli en effet mensuellement, pendant ces quatre mois de trente-deux années précitées, 32 lignes $\frac{2}{10}$, ce qui donne près d'un pouce d'eau de plus par mois, que les huit mois précédents de la même période; or, il n'est tombé que 23 lignes $\frac{5}{10}$ d'eau dans les quatre premiers mois des neuf dernières années; il y a donc une diminution dans la cause alimentaire des sources de 28 pour 100 entre ces deux périodes, différence suffisante pour expliquer le phénomène que les environs de La Rochelle ont présenté.

L'égalité presque complète qui existe entre les quantités totales de pluie des mois de février à septembre, de l'une et l'autre période (la différence n'est en effet que de $\frac{4}{10}$ de ligne par mois, ou d'environ 2 pour 100), mérite d'autant plus d'être signalée, que ces huit mois sont ceux pendant lesquels la plupart des végétaux prennent leur accroissement et parviennent à la maturité.

L'année 1834 a présenté le plus grand de tous les déficits. On n'y compte que 94 jours de pluie et 17 pouces 4 lignes $\frac{8}{10}$ d'eau, tandis que les moyennes des trente-deux années précitées ont été de 148 jours et de 24 pouces 3 lignes $\frac{4}{10}$, ce qui donne une diminution de 29 pour 100 sur l'année entière, et spécialement de 33 pour 100 sur les quatre mois de janvier, octobre, novembre et décembre.

Tout ce que nous avons rapporté jusqu'à présent tend à prouver que les pluies produisent les sources en s'infiltrant dans le sol,

et en effet, un grand nombre n'ont pas d'autre origine. On s'en aperçoit facilement aux grandes variations qu'elles présentent dans le volume de leurs eaux. On les voit souvent tarir dans les sécheresses, et couler en abondance quand des pluies fréquentes abreuvant le terrain. Il s'en faut cependant de beaucoup que toutes les sources soient ainsi dépendantes des saisons.

Un grand nombre d'entre elles ont pour causes la condensation immédiate de la vapeur, sans que celle-ci passe d'abord à l'état de pluie; et par conséquent les montagnes auraient une grande influence sur l'abondance des sources dans une contrée. Leurs sommets élevés et froids se trouvant en contact avec des vapeurs, les condensent, et l'eau ruisselle sur leurs parois, ou pénètre dans leur intérieur, selon la nature des rochers.

Les montagnes exercent une attraction puissante sur tous les corps qui se trouvent dans leur voisinage, et par conséquent sur les vapeurs de l'atmosphère; mais quand cette attraction n'aurait pas lieu, l'effet serait presque le même; car, dès que les premières vapeurs seraient condensées, celles qui les suivent et qui les pressent par leur élasticité, se trouvant elles-mêmes en contact avec la montagne, se condenseraient à leur tour, et ainsi successivement, et il s'établirait nécessairement un courant de vapeurs qui viendraient de toutes parts aboutir contre les rochers et s'y résoudre en eau. Aussi voit-on les pics isolés sans cesse environnés d'une ceinture de brouillards, formés non-seulement par les nuages épars dans l'air, et qui sont visiblement attirés par la montagne, mais encore par les vapeurs répandues dans l'atmosphère, qui étaient d'abord invisibles pendant qu'elles étaient raréfiées, mais qui deviennent apparentes et forment des nuages sensibles dès qu'elles approchent assez de la montagne pour éprouver un commencement de condensation, et qui finissent par se résoudre en eau lorsqu'elles sont parvenues au point de contact.

Lorsque les vapeurs se sont condensées en eau coulante contre les rochers, cette eau pénètre dans leurs interstices, elle s'y fraie des routes qui s'élargissent avec le temps; elle descend à des profondeurs plus ou moins

grandes, et reparait au jour sur les flancs ou vers la base de la montagne.

La vapeur passe même quelquefois à l'état solide avant de former les sources. C'est ce qui arrive sur le sommet des hautes montagnes. Au lieu de pénétrer de suite dans l'intérieur, elle se congèle et forme des glaciers. Ceux-ci fondent par leur partie inférieure, et de leur extrémité on voit sortir des sources limpides et abondantes. Telle est celle de l'Arveyron, qui sort comme un torrent de l'ancre de glace ouvert à l'extrémité du glacier des Bois.

Lorsque les sources proviennent directement de l'absorption et de la condensation des vapeurs contenues dans l'air, elles sont ordinairement plus abondantes l'été que l'hiver, et il est facile de se rendre raison de cette différence, en se rappelant que l'air contient d'autant plus de vapeur d'eau qu'il est plus chaud. Or, pendant l'hiver, le sol étant plus chaud que l'air, il ne peut y avoir condensation de vapeur, tandis que pendant l'été l'air étant chaud et le sol plus froid, surtout au sommet des hautes montagnes, il y a une précipitation d'eau continuelle, qui alimente les sources des environs.

Ceci explique l'abondance de certaines sources qui sont placées presque au sommet des montagnes, ou qui du moins ne sont dominées que par des pics dont la surface est très-limitée. On ne peut se rendre raison du volume de leurs eaux qu'en admettant cette condensation continuelle de vapeurs sur les sommets voisins.

Une végétation abondante influe aussi d'une manière très-remarquable sur la production des sources. Il paraît même que les arbres ont la propriété d'attirer les vapeurs avec bien plus de force que les montagnes, et le déboisement d'un pays contribue à le dessécher et à le priver de ses fontaines. Mercator rapporte que dans l'île Saint-Thomas il ne pleut jamais, mais qu'il y a dans le centre de l'île une grande montagne couverte de forêts au-dessus desquelles des nuages flottent continuellement et produisent des sources qui sont l'origine de nombreux ruisseaux.

A ces différentes causes, qui déterminent la formation des sources, il faut encore ajouter l'action capillaire du sol et l'action des lois

de la pesanteur qui obligent tous les liquides à chercher un niveau.

On remarque aussi une grande différence entre la distance qui existe entre le point d'absorption de l'eau et celui où elle sort. Ainsi, si la roche est dure, compacte et fissurée, l'eau en sort promptement et les sources sont nombreuses; si au contraire le terrain est composé de roches poreuses et très-perméables à l'eau, celle-ci pénètre profondément et va sortir au loin, en sorte que de grands espaces sont entièrement dépourvus de sources; c'est ce qui arrive dans les pays volcaniques où toutes les eaux s'infiltrant, se rassemblent sous les coulées, et viennent jaillir à leur extrémité. Il n'est pas rare de voir des courants de lave de deux à trois lieues d'étendue n'offrir aucune trace d'eau sur tout leur trajet. Les sources d'eau douce qui s'échappent au milieu de la mer prouvent aussi que l'eau peut parcourir une grande distance, puisqu'une de celles que nous avons citées sort à 36 lieues de la côte la plus voisine. L'eau douce qui se rassemble dans les cavités des Cayos de Cuba doit aussi arriver d'un lieu assez éloigné.

« Lorsqu'on réfléchit, dit M. de Humboldt, sur l'extrême petitesse de ces îlots, on a de la peine à croire que les mares d'eau douce sont de l'eau de pluie non évaporée. Prouveraient-elles une communication souterraine du calcaire de la côte avec le calcaire qui sert de base aux polypiers lithophites, et l'eau douce de Cuba serait-elle soulevée par une pression hydrostatique à travers la roche à coraux des Cayos, comme elle l'est dans la baie de Xagua, où, au milieu de la mer, elle forme des sources fréquentées par les Laman-tins¹. »

Quelques sources, et ce sont surtout les plus abondantes, n'ont pas pour cause directe la fréquence des pluies ni la condensation des vapeurs; elles doivent leur origine à des ruisseaux et quelquefois même à de véritables fleuves souterrains, qui viennent tout à coup jaillir au-dessus du sol. C'est ce qui arrive principalement dans la Morée. Les eaux pluviales se rassemblent dans des bassins fermés

¹ HUMBOLDT, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. XI, p. 235.

de tous côtés, mais presque toujours munis d'ouvertures particulières dans lesquelles ces eaux vont s'engouffrer. Dans d'autres lieux, ou les voit sortir et former ces fontaines abondantes dont nous avons déjà parlé. Quand les sources doivent leur naissance à de tels phénomènes, il arrive souvent que leur température, leur volume et leur limpidité éprouvent de la part des saisons de grandes altérations; mais si le trajet souterrain que les eaux parcourent est assez long, toutes ces différences disparaissent, et la source conserve ses caractères constants. C'est précisément ce qui arrive aux *Xéphalorysi* de la Grèce, et ce qui excita la surprise de MM. Boblaye et Virlet quand ils virent que leurs eaux avaient la même température, la même pureté et à peu près le même volume après la fonte des neiges, dans la saison des pluies et dans les longues sécheresses de l'été.

DES Puits ARTÉSIENS.

Nous avons supposé jusqu'ici que l'eau infiltrée ou absorbée, descendant des lieux élevés vers ceux qui sont plus bas, trouvait une ou plusieurs issues faciles par lesquelles elle s'échappait; mais il n'en est pas toujours ainsi. Il arrive souvent, comme nous l'avons déjà dit au commencement de ce chapitre, que l'eau, s'infiltrant sur la tranche d'une couche perméable, peut pénétrer dans son intérieur, et que cette couche de terrain se trouve placée entre deux autres qui ne permettent pas au liquide contenu dans celle qui est perméable de s'échapper. (Fig. I.)

Si la couche supérieure a une grande étendue, tout le terrain qu'elle formera sera dépourvu de sources, et celles-ci viendront sortir au point le plus bas, sur la tranche même de la couche dans laquelle l'eau a pu pénétrer. Si maintenant nous admettons que par une cause quelconque, qui est ordinairement due au soulèvement des montagnes, ce système de couches perméables et imperméables, qui alternent avec plus ou moins de régularité, se trouve relevé vers ses bords, de manière à présenter un bassin dans son milieu, il en résultera que l'eau suivant toujours les lois de la pesanteur, se rassemblera dans la partie la plus basse et s'y trouvera comprimé

sans pouvoir s'échapper. Si dans un tel bassin il existe une ou plusieurs ouvertures, ou si l'on en pratique artificiellement, ou aura une source jaillissante, c'est-à-dire que l'eau s'élèvera d'autant plus au-dessus du sol que son point d'infiltration supérieur sera plus élevé. Cette explication résume toute la théorie des puits artésiens, qui ne sont que des sources jaillissantes artificielles dont la nature a longtemps montré l'exemple avant qu'on l'ait suivi, et dont le forage, multiplié dans ces dernières années, a jeté un grand jour sur l'origine et la disposition des nappes d'eau souterraines.

On voit que les terrains à couches, et surtout ceux qui sont formés de lits alternativement poreux et imperméables, sont ceux dans lesquels on a le plus de chances de succès lorsqu'on y introduit la sonde pour y chercher une source artificielle. Ces puits artésiens prouvent aussi qu'il existe sous certaines contrées, des nappes d'eau souterraines, des lacs ou de véritables rivières, comme nous le prouverons en parlant des cavernes, et que la force qui détermine l'ascension du liquide n'est autre que la tension produite dans la nappe d'eau souterraine, par l'élévation de son niveau supérieur. C'est exactement un jet d'eau qui jaillit à une hauteur et avec une force d'autant plus grandes que son réservoir est plus élevé. La force ascensionnelle est quelquefois très-considérable, comme on peut en juger par les exemples suivants :

La commune de Bages, située à deux lieues sud-ouest de Perpignan, renferme plusieurs sources jaillissantes naturelles, connues dans le pays sous le nom de *Dals-Mattès*. Elles sont profondes, très-abondantes, cachées quelquefois par une végétation supérieure, qui les rend très-dangereuses pour le voyageur aventuré dans les environs sans les connaître ou sans être accompagné d'un guide. L'eau qu'elles fournissent est limpide, agréable à boire, d'une température de 14° Réaumur. La forme du bassin de Bages et la présence de ces sources étant des données suffisantes, M. Durand, possesseur d'une grande partie des propriétés de cette commune, fit sonder sur un point, à environ 30 pieds au nord de Bages. A 80 pieds de profondeur, au-dessous d'une couche de 3 pieds d'une marne très-

sablonneuse, il jaillit une source très-claire, sans sable ni argile, à 14° Réaumur, et s'élevant à 3 ou 4 pieds au-dessus du sol. Un second sondage fut opéré à 6 pieds de distance du premier point : à la profondeur de 80 pieds, on obtint également l'eau jaillissante ; le travail de la sonde ayant été continué à une profondeur de 142 pieds, elle eut à traverser une argile noire et compacte ; à 143 pieds, elle s'enfonça d'elle-même assez profondément sans qu'on ait encore songé à découvrir à quelle profondeur elle s'arrêterait. La sonde ayant été retirée avec promptitude, il jaillit aussitôt une source qui étonna tous les assistants par son abondance, sa force et sa puissance ascensionnelle. Dès l'instant de son apparition (28 août, 3 heures $\frac{1}{2}$ du soir), aucun obstacle n'a pu lui être opposé pour la contenir. Elle s'est élevée à toutes les hauteurs qu'on lui a ménagées au moyen de tuyaux disposés perpendiculairement à son point de jaillissement ; c'est au point qu'il est permis de croire qu'elle s'élèvera à 50 pieds. Au 7 septembre, c'était encore même abondance, même force d'ascension. Cette eau forme, dès sa sortie de terre, un courant de 63 centimètres de largeur et 1 décimètre de profondeur, terme moyen. Dans une minute, l'eau parcourt 52 mètres, ce qui donne, à peu de choses près, 2,000 litres d'eau par minute. L'eau de ce second puits foré est claire, brillante, limpide, incolore ; elle a un peu de cette saveur particulière, désignée sous le nom de fœneur d'eau ; sa température est de 13° Réaumur ; elle fait jaillir avec elle des grains de sable, du gravier rouge en très-petite quantité, des morceaux d'argile noire, dont quelques-uns sont presque aussi volumineux que le trou fait par la sonde. Un poids en plomb, de huit livres, soutenu par une corde, plongé dans le trou de la sonde, a été rapidement jeté au dehors ¹.

Voici un autre exemple bien remarquable de l'énorme quantité d'eau que peuvent fournir quelques fontaines artésiennes :

Le puits dont il s'agit a été percé à une lieue environ de Tours, à une très-petite distance de la rive droite du Cher, au milieu de prés qui dépendent du château de Tangé. Après

avoir traversé les terrains de transport et un banc de craie de 62 mètres d'épaisseur, on a trouvé, à la profondeur de 67 à 74 mètres, plusieurs nappes d'eaux jaillissantes, séparées par des plaquettes de grès dur, et qui ont fourni, à un mètre environ au-dessus du sol naturel, 250 litres d'eau à la minute. De 74 à 93 mètres environ, on a rencontré de nombreuses couches d'argile brune, très-puissantes, alternant avec des calcaires siliceux et des grès verts, en bancs plus ou moins épais. Parvenue à 123 mètres, la sonde a été enfoncée, dans l'espace de quelques heures, jusqu'à 150 mètres, en traversant successivement des plaquettes de grès et des couches de sables verts. A cette profondeur, la source fournit une masse d'eau de 2,500 à 2,600 litres à la minute ².

Déjà d'autres puits artésiens avaient été forés avec succès à Tours et dans les environs, et un fait bien remarquable, c'est que les nouvelles sources jaillissantes que l'on y perce peuvent être multipliées et rapprochées presque indéfiniment sans se nuire, tandis que dans d'autres localités chaque nouveau puits abaisse le niveau des autres, ou du moins diminue leur volume.

Un de ceux qui furent forés à Tours, dans la ville même, donna lieu à un phénomène très-curieux. Pendant les premières heures de son apparition, l'eau amena divers débris de corps organiques « parmi lesquels, dit M. Dujardin, on pouvait reconnaître des » rameaux d'épines longs de quelques centimètres, noirs par leur séjour dans l'eau ; » des tiges et des racines encore blanches de » plantes marécageuses ; des graines de plusieurs espèces, dans un état de conservation » qui ne permettait pas de supposer qu'elles » eussent séjourné plus de trois ou quatre » mois dans l'eau. Parmi les graines, on remarquait surtout celle d'un caille-lait qui » croît dans les marais ; on y trouvait enfin » des coquilles d'eau douce et terrestres. » Tous ces débris ressemblaient à ceux que » les petites rivières et les ruisseaux laissent » sur les bords après un débordement. » M. Dujardin fixe à moins d'un an le séjour

¹ *Journal des Pyrénées*, 7 septembre 1833.

² *Lettre de M. Desbassayns de Richemont à M. Arago*, Institut du 4 novembre 1835.

que ces graines ont pu faire dans le liquide, puisqu'elles n'étaient pas décomposées. Or, comme elles furent recueillies en janvier, l'époque de leur maturité ne pouvait être que dans l'automne précédent; elles devaient par conséquent avoir mis quatre mois environ pour venir du point où elles avaient été englouties jusqu'à Tours. Et comme il existe des sources naturelles qui jaillissent bien loin du sol où elles puisent les eaux qui les alimentent, M. Dujardin pense que la nappe souterraine qui alimente les puits artésiens de Tours, prend naissance dans l'Auvergne ou dans le Vivarais. Bien qu'au premier abord il soit difficile d'admettre une telle opinion, elle n'a cependant rien qui répugne positivement, et elle a peut-être acquis un certain poids depuis que M. Dujardin a constaté par des procédés très-ingénieux la présence d'une petite quantité d'arragonite, substance très-commune en Auvergne, dans l'eau de ce puits; tandis que c'est toujours du carbonate de chaux rhomboédrique qu'il a rencontré dans l'eau de la Loire et toutes les eaux des environs de Tours¹.

A Rivesaltes, dans les Pyrénées-Orientales, on a foré un puits qui, à la profondeur de 150 pieds environ, a donné par minute 800 litres d'eau qui possède une grande force ascensionnelle.

Une autre source artificielle établie nouvellement à Lillers (Pas-de-Calais), donne, à 40 mètres de profondeur, 700 litres par minute.

Il y a souvent plusieurs nappes d'eau superposées, et susceptibles de jaillir, comme on a pu le voir dans les faits que nous avons cités plus haut; mais il arrive plus souvent qu'une seule de ces nappes jaillit, tandis que les autres ne présentent pas le même caractère.

Entre mille exemples, on a fait cette remarque aux deux puits artésiens d'Elbeuf, sur lesquels M. Girardin a appelé l'attention de l'Académie des sciences pour un autre phénomène que l'un d'eux a présenté².

Ces puits, creusés à peu de distance de la Seine, et assez rapprochés l'un de l'autre,

sont remarquables par le volume et la pureté de l'eau qu'ils fournissent; ils sont à la même profondeur de 149^m. 40^c. La nappe qui les alimente, et qui doit être la même, se trouve dans les sables verts et gris, inférieurs à la craie. Les couches traversées par la sonde ont été absolument les mêmes dans les deux localités. La formation de craie a la même épaisseur de 121^m. 93^c. En creusant ces deux puits, on a trouvé une première nappe d'eau d'infiltration peu abondante, à 6^m. 49^c, et une deuxième très-abondante, entre 11 et 12 mètres au-dessous du sol: l'eau de ces deux puits est bonne, peu calcaire; sa température est de 16° centigrades.

C'est dans l'eau d'un de ces puits que M. Girardin a constaté la présence de deux petites anguilles³, qui ont été soumises à l'examen de M. Duméril qui les a parfaitement reconnues pour telles. Ce fait, extrêmement curieux par lui-même, le devient bien plus encore si l'on fait attention que l'on ne connaît pas le mode de reproduction des anguilles, et il prouve, dans tous les cas, que les eaux qui alimentent les puits artésiens peuvent provenir, comme celles qui donnent naissance à certaines sources naturelles, de rivières souterraines plus ou moins considérables, et ne sont pas toutes des eaux d'infiltration.

Tout ce que nous avons dit de l'intermittence de certaines sources naturelles, du volume constant que présente l'eau qui sort de quelques autres, devra nécessairement s'appliquer par la suite aux puits artésiens, lorsqu'on les aura multipliés et étudiés sur un grand nombre de points. On cite déjà près de La Roebelle une anomalie de ce genre. C'est un puits foré à 70 mètres du bord de la mer, et dans lequel la nappe ascendante que la sonde a rencontrée se maintient à 7 mètres au-dessous du sol. La profondeur totale de ce puits est de près de 190 mètres. Pendant quatre ans, le niveau de cette colonne liquide, de 185 mètres de long, ne varia pas sensiblement; mais en 1855, quelques tentatives ayant été faites pour approfondir encore le puits, ses eaux éprouvèrent d'énormes mouvements oscillatoires.

¹ *Annales de Chimie et de Physique*, 1834, p. 216.

² *Lettre de M. Girardin à M. Arago. Institut du 4 novembre 1835.*

³ *Institut du 14 octobre 1835.*

Le 1^{er} septembre on reconnt un abaissement de 48 mètres ;

Le 2, cet abaissement était de 31 mètres ;

Le 3, l'eau commença à remonter ;

Le 2 octobre, l'eau était à son ancien niveau.

Le 3, nouvel abaissement ;

Le 4, l'abaissement était déjà de 10 mètres ;

Du 5 au 14, ascension de 3 mètres ;

Du 14 au 18 (en cinq jours), abaissement de 47 mètres ;

Le 19, commencement d'ascension ;

Du 19 octobre au 13 novembre, l'ascension fut de 38 mètres ;

Du 14 novembre au 16, abaissement de 3 mètres ;

Le 16, commencement d'ascension ;

Du 16 au 23 décembre, ascension de 11 mètres.

« Ces oscillations, assurément fort étranges, » dit M. Arago ¹, tant par leur irrégularité » que par leur étendue, semblent devoir » être suivies pendant une plus longue période avant qu'on puisse se livrer à leur explication avec quelques chances de succès. »

On ne peut avec aucune vraisemblance attribuer au voisinage de la mer ces oscillations irrégulières de la fontaine de La Rochelle, pas plus peut-être qu'il ne faudrait lui attribuer la salure des eaux d'un puits percé à Ronen, à 175 pieds de profondeur, quoique cependant, pour ce dernier cas, il puisse exister quelques rapports. Souvent, quand les puits artésiens sont rapprochés des côtes, le mouvement de la marée a une influence très-marquée sur le niveau ou l'abondance des eaux. Elles montent ou augmentent pendant le flux, s'abaissent ou diminuent au reflux. M. Baillet a constaté la différence de niveau pour la fontaine jaillissante de Noyelle-sur-Mer, département de la Somme, et l'on voit à Fulham, près de la Tamise, dans une propriété de l'évêque de Londres, une fontaine forcée à 97 mètres de profondeur, qui donne 365 ou 275 litres d'eau par minute, suivant que la marée est haute ou basse ² : les mêmes

influences s'exercent sur les fontaines naturelles qui sont en communication avec les eaux de la mer. Dans l'un et l'autre cas, voici l'explication très-simple qu'en donne M. Arago ¹ :

« Si l'on pratique dans la paroi d'un vase » de forme quelconque rempli de liquide, » une ouverture dont les dimensions, comparées à celles du vase, soient très-petites, » l'écoulement qui s'opérera par cette ouverture, n'altérera pas sensiblement l'état initial des pressions. Deux, trois, dix ouvertures, pourvu qu'en somme elles fassent toujours à la condition d'être très-petites, laisseront, de même, les pressions exercées en chaque point du vase un peu éloigné de ces ouvertures, ce qu'elles étaient dans l'état d'équilibre, ce qu'elles étaient quand le liquide n'avait aucun mouvement. Supposez maintenant l'ouverture ou les ouvertures un peu grandes, et tout sera changé ; et les dimensions qu'on leur donnera régleront les pressions en chaque point ; et si l'une des ouvertures diminue de grandeur, la vitesse d'écoulement augmentera aussitôt dans les autres.

« Ces principes, parfaitement démontrés » de l'hydrodynamique, s'appliqueront sans effort au phénomène qui nous occupe.

« Admettons que la rivière souterraine où » va s'alimenter une fontaine artésienne, se » décharge, aussi partiellement, dans la mer ou dans un fleuve sujet au flux et au reflux, et cela par une ouverture un peu grande, comparée à ses propres dimensions. D'après ce que nous venons de dire, si cette ouverture diminuait, la pression s'accroîtrait aussitôt dans tous les points des canaux naturels ou artificiels que les eaux de la rivière remplissent ; l'écoulement par le trou de sonde deviendrait donc plus rapide, ou bien le niveau de l'eau s'élèverait dans les buses. Or, tout le monde comprendra qu'amener la haute mer sur l'ouverture par laquelle une rivière souterraine se décharge, c'est diminuer, par une augmentation de la pression extérieure, la

¹ ARAGO, *Annuaire du bureau des longitudes*, 1835, p. 252.

² *Id.*, p. 251.

¹ ARAGO, *Annuaire du bureau des longitudes*, 1835, p. 251.

» quantité d'eau de cette rivière qui pourra
 » s'écouler en un temps donné. L'effet est
 » précisément celui qu'une diminution d'ou-
 » verture eût produit ; ainsi la conséquence
 » doit être la même : le flux et le reflux de la
 » mer détermineront donc un flux et un reflux
 » correspondant dans la source artésienne.
 » Telle est, en réalité, le phénomène observé
 » à Noyelle et à Fulham. »

Pour terminer ce que nous pouvons dire
 des puits artésiens dans un ouvrage de géo-

graphie physique, il nous resterait encore à
 parler de la composition de leurs eaux et de
 leur température : mais comme, sous tous
 ces rapports, ce que nous avons dit des
 sources naturelles s'applique maintenant à
 ces fontaines que l'homme a imitées de la na-
 ture, nous n'avons donc rien à ajouter à ces
 détails, et nous renverrons pour le reste au
 chapitre qui traitera de la température du
 globe, et à celui dans lequel nous étudierons
 les eaux minérales.

CHAPITRE TROISIÈME.

DES COURS D'EAU.

L'eau qui est sortie des sources et celle
 qui glisse immédiatement sur le sol par son
 propre poids, obéit aux lois de la pesanteur,
 et suit les pentes du terrain. Le point de jon-
 ction de deux pentes opposées, détermine le
 lit que suivent ces eaux pour former les *ruis-
 seaux*, les *torrents*, les *rièrres* et les *fleuves*,
 en sorte que l'eau des pluies ou des sources,
 qui tombe sur le sommet des montagnes,
 vient, après une foule de détours, se réunir
 dans le vaste bassin de l'Océan, réceptacle
 commun d'où elle s'évapore encore pour cir-
 culer de nouveau.

Les ouvrages de géographie sont loin
 d'être d'accord sur la définition que l'on doit
 donner de ces différents cours d'eau ; mais
 heureusement la chose n'est pas d'une grande
 importance, et la description générale d'un
 ruisseau peut presque toujours s'appliquer à
 une rivière et souvent à un fleuve. Voici ce-
 pendant les définitions le plus généralement
 admises.

Un *ruisseau* est l'eau d'une source qui
 s'est creusé un lit ordinairement peu étendu
 en longueur, assez étroit, peu profond, et
 qui s'écoule avec plus ou moins de rapidité.
 Si la pente est forte, si le ruisseau, souvent

à sec, n'est alimenté que de temps en temps
 par des pluies ou la fonte des neiges, il
 prend le nom de *torrent* ; s'il tombe d'un lieu
 élevé, il forme une *cascade* ; un obstacle
 vient-il à arrêter ses eaux, elles s'accumulent
 et produisent un *lac* ; mais si le terrain où
 elles s'arrêtent est plat, s'il n'a pas de pente,
 elles y séjournent et forment un *marais*.

Une *rivière* est la réunion de plusieurs
 ruisseaux ; sa largeur est plus grande, son lit
 plus profond ; mais tel cours d'eau qui n'est
 qu'un ruisseau dans une saison, peut devenir
 une grande rivière dans une autre.

On a réservé le nom de *fleuve* à la réunion
 de plusieurs rivières qui vont ensemble verser
 leurs eaux dans la mer après un cours pro-
 longé sur un continent ; car, dans une île,
 quelle que soit l'étendue d'un cours d'eau qui
 va directement se jeter dans la mer, il ne
 prend jamais le nom de fleuve. Il existe des
 rivières et même de faibles ruisseaux qui se
 versent aussi dans la mer sans qu'on ait ja-
 mais songé à leur donner le nom de fleuve ;
 en sorte qu'il n'existe réellement aucune dé-
 finition exacte de ces objets. Nous les étudie-
 rons collectivement sous le nom de *cours
 d'eau*.

Les cours d'eau permanents proviennent toujours de sources; mais, comme nous venons de le dire, ils peuvent accidentellement être augmentés par les eaux sauvages qui glissent à la surface du sol après les grandes pluies, ou lorsqu'un vent chaud vient tout à coup fondre les neiges. Ils sillonnent la majeure partie des continents, et forment, comme on peut le voir sur une bonne carte géographique, une sorte de réseau dont tous les filets se réunissent en plusieurs branches principales pour se rendre dans l'Océan.

Les fleuves ont nécessairement des bassins ou régions hydrographiques très-étendus, puisqu'ils sont formés de la réunion d'une infinité de bassins particuliers, de rivières ou de ruisseaux; quelquefois les arêtes de ces bassins sont tracées par des chaînes de montagnes qui marquent nettement la ligne de partage des eaux; mais il ne faudrait pas en conclure que le sol est toujours très-élevé au point de séparation de ces bassins; il arrive même qu'il n'y a pas la moindre élévation, et que les terrains tributaires de deux fleuves différents, ne séparent ces derniers que d'une très-petite distance. Les observations de La Condamine, et plus tard celles de M. de Humboldt ont constaté que les deux grands bassins de l'Orénoque et des Amazones, dont le dernier occupe une étendue qui égale quinze fois celle de la France, communiquaient par le Cassiquari et plusieurs autres rivières. En Europe, les sources de la Dwina, du Niemen et du Borysthène se confondent, pour ainsi dire, au milieu d'un vaste marais. Ce sont pourtant toujours les points les plus élevés des continents qui donnent naissance aux cours d'eau; aussi voit-on les groupes de montagnes servir de centre ou de point de départ à une foule de ruisseaux quelquefois très-considérables dès leur naissance, et qui conservent leur nom jusqu'à la mer. Ainsi, la Garonne vient du sommet élevé des Pyrénées; les sources du Rhin sont dans la partie orientale du mont Saint-Gothard, à une élévation de près de 2,000 mètres; celles du Rhône sont dans les Alpes, sur la montagne de la Fourche, à une élévation de 1,800 mètres.

On compte environ 600 fleuves sur le globe, c'est-à-dire que l'eau qui s'écoule des continents dans le bassin des mers, y arrive

par 600 ouvertures ou 600 conduits principaux. L'eau qu'ils portent ensemble dans l'Océan forme une masse énorme que Buffon a essayé d'évaluer par le calcul: en supposant, dit-il, que l'Océan ait partout une profondeur moyenne de 460 mètres, il faudrait 812 ans pour qu'ils puissent remplir ce vaste bassin.

Les principaux fleuves de l'Europe sont le *Volga*, qui se jette dans la mer Caspienne; le *Danube* et le *Nieper*, dans la mer Noire; le *Don*, dans la mer d'Azof; la *Dwina*, dans la mer Blanche, au-dessous d'Archangel.

A ces fleuves il faut joindre ceux de l'Asie septentrionale, qui coulent du sud au nord pour se jeter dans la mer Glaciale.

Mais ces grands cours d'eau, dont plusieurs ont 500 lieues d'étendue, sont bien moins considérables que beaucoup d'autres fleuves d'Asie, tels que le *Gange* et l'*Indus*, tels que le *Hoang* et le *Kiang*, qui prennent naissance sur la crête orientale du Tibet, et coulent à l'est pour aller se jeter dans la mer du Japon, après avoir traversé toute la Chine. Le fleuve *Amour*, qui vient de la partie orientale de la grande chaîne de la Sibérie pour verser ses eaux dans la mer du Kamtschatka, et le *Nil* qui semble fuir l'Abyssinie pour venir se jeter directement dans la mer, sont encore deux fleuves des plus importants de l'ancien continent; mais ces fleuves sont moins considérables encore que ceux du Nouveau-Monde, parmi lesquels on distingue surtout l'*Amazonie*, le *Saint-Laurent*, et le *Mississipi*, le plus puissant de tous, dont les immenses rivières de l'*Ohio* et du *Missouri* ne sont que des affluents.

Quant à nos petits fleuves, tels que le *Guadalquivir*, la *Guadiana*, le *Douero* et l'*Èbre*, en Espagne; le *Tibre* et le *Pô*, en Italie; le *Rhône*, la *Garonne*, la *Loire* et la *Seine*, en France; l'*Elbe*, l'*Oder*, la *Vistule* et le *Rhin* lui-même, qui vont verser leurs eaux dans la mer du Nord, ils sont bien peu de chose si on les compare à ceux que nous venons de citer.

Les cours d'eau sont presque toujours divergents au sommet des massifs hydrographiques, qui sont le plus souvent le point de départ d'un certain nombre de ruisseaux, tandis que dans les plaines ils affectent une

sorte de parallélisme déterminé par les pentes prolongées du terrain. En général, il n'y a rien de fixe sur la direction des cours d'eau, même des grands fleuves. Rarement le cours d'une rivière est direct; on y rencontre toujours un grand nombre de sinuosités: cela tient aux obstacles que présente le terrain et qui renvoient l'eau dans une autre direction; cela tient aussi à la nature des roches et du terrain où coule la rivière. Quand ce terrain est mobile, la rivière l'entraîne facilement et creuse son lit en ligne directe; mais s'il devient plus dur ou composé de roches cristallisées, difficiles à entamer, l'eau se détourne, suit la route qui lui offre le moins de difficultés, et allonge ainsi son cours par une foule de détours qui décuplent quelquefois sa longueur.

C'est souvent sur la limite de deux terrains dont la nature géologique est différente, que l'eau creuse son lit, parce qu'elle y trouve déjà une sorte de fissure naturelle qu'elle ne fait qu'agrandir. Cette cause, jointe à la position des collines, détermine souvent les nombreux détours du cours d'eau. On en voit un exemple sur la *Seine*. Celle-ci, arrivant, au sortir de Paris, contre les hauteurs de Meudon, s'y trouve arrêtée et se dirige vers les hauteurs opposées qui régnaient d'Épernay à Argenteuil; là, étant de nouveau repoussée, elle vient baigner la base des côtes de Marly; elle s'écoule ensuite vers les côtes de Cormeille, et de là vers celles d'Otty, et ainsi de suite successivement, produisant une série de détours que Desmarest désignait sous le nom d'*oscillations*.

La longueur, la largeur, la profondeur et la vitesse d'un fleuve sont les éléments qui déterminent sa puissance; mais on prévoit d'avance qu'ils peuvent se combiner de différentes manières, et que deux d'entre eux, la largeur et la vitesse, doivent souvent se compenser et se trouver en raison inverse l'un de l'autre.

Le fleuve qui a le cours le plus long est celui des Amazones. Sa longueur égale presque le diamètre entier de la terre; elle est de 980 lieues de 20 au degré, et l'on remonte son cours à la voile sur une longueur de 750 lieues.

Le Mississippi a 560 lieues en mesurant sa

branche principale, et 815 en remontant jusqu'aux sources du Missouri¹.

Le Volga, le plus grand fleuve de l'Europe, le seul que l'on puisse comparer aux fleuves de l'Amérique, déploie son cours sur une étendue de 650 lieues.

Le Rio de la Plata a 550 lieues en remontant par le Rio-Paraguay.

L'Indus a un cours de 510 lieues; le Danube 450; le Gange 426, et l'Orénoque 420, pour la partie connue seulement. Le Don parcourt 400 lieues, le Nieper 540, et la Dwina 500.

L'Irtyche, rivière de Sibérie, se jette dans l'Ob, après un trajet de 500 lieues.

Le nombre des affluents de ces fleuves est considérable; on est loeu de les bien connaître tous; mais pour ceux d'Europe seulement, le Danube en reçoit 50, le Volga 52, le Don 6, le Nieper 19, la Dwina 12, et plusieurs de ces affluents sont des rivières très-considérables. Qu'on juge après cela de l'immense réseau d'eaux courantes qui sillonnent la surface du globe, en occupant tous les lieux bas sous forme de troncs élargis, qui divisent leurs rameaux à l'infini, et les appliquent comme de nombreuses racines sur les flancs des montagnes pour y puiser l'eau qu'y versent continuellement les pluies et les brouillards! Admirable circulation, qui entretient la vie à la surface du globe et qui mine lentement la croûte extérieure de notre planète.

La largeur de quelques fleuves n'est pas moins remarquable que la longueur prodigieuse de leur cours. Il est peu de personnes qui n'aient vu l'embouchure d'un de nos petits fleuves dans l'Océan, ou du moins celle de la Seine; que l'on juge, d'après cette miniature, de l'étendue des canaux qui versent l'eau des grands fleuves d'Amérique ou d'Asie.

En mesurant la largeur de l'Orénoque, entre les îles appelées *Isla de la Uruana* et *Isla de la Manteca*, M. de Humboldt l'a trouvée, par les hautes eaux, de 2674 toises, qui font près de quatre milles marins: c'est huit fois la largeur du Nil à Manfalout et Syout, et cependant il était à cent quatorze lieues

¹ HUMBOLDT, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. VIII, p. 588.

de distance de la bouche de l'Orénoque ¹.

Plus bas, entre l'embouchure de l'Apure et le rocher Curiquima, le même savant, frappé de l'extrême largeur de l'Orénoque, l'a déterminée au moyen d'une base mesurée deux fois sur la plage occidentale. Le lit de l'Orénoque, dans son état actuel des basses eaux, avait 1906 toises de large; mais cette largeur atteint jusqu'à 3317 toises, lorsque, dans les temps de pluies, le rocher de Curiquima et la ferme du Capuchino, près de la colline de Pocopocoff, deviennent des îles ².

C'est encore à M. de Humboldt que nous empruntons les détails suivants sur la largeur des fleuves :

« L'Orénoque, comme l'Amazone, le Nil
 » et toutes les rivières qui se partagent en
 » plusieurs branches, n'a pas une embouchure aussi grande qu'on devrait le supposer d'après la longueur de son cours et la
 » largeur qu'il conserve à quelques centaines de lieues dans l'intérieur des terres. On
 » sait, par les observations de Malaspina,
 » que le Rio de la Plata, depuis Punta del
 » Este près de Maldonado jusqu'an Cabo san
 » Antonio, a plus de 124 milles (41,5 lieues
 » de large); mais en remontant vers Buenos
 » Ayres, cette largeur diminue si rapidement, que, vis-à-vis la *Colonia del Sacramento*, elle n'est déjà plus que de 21 milles
 » (7 lieues). Ce que l'on appelle communément l'embouchure du Rio de la Plata n'est
 » qu'un golfe dans lequel se jettent l'Uruguay
 » et le Parana, deux fleuves d'une largeur
 » moins considérable que l'Orénoque. Pour
 » exagérer la grandeur de l'embouchure de
 » l'Amazone, on regarde comme situées dans
 » cette embouchure les îles Marajo et Caviana,
 » de sorte que l'on trouve, depuis la Punta
 » Trigiola jusqu'an Cabo del Norte, l'immense
 » largeur de 5° $\frac{1}{2}$, ou 70 lieues.
 » Entre Macapa et la rive occidentale de
 » l'île Marajo (Ilha de Joanes), l'Amazone
 » proprement dit est divisé en deux branches qui, ensemble, n'ont que 52 milles
 » (11 lieues) de large ³. »

Il est bien difficile de déterminer la profon-

deur des fleuves, parce qu'ils charrient continuellement des parties terreuses qui font varier leur lit, et ensuite parce que cette profondeur change à chaque instant. La largeur, dont nous venons de parler, est aussi un caractère sujet à de bien grandes variations; car, indépendamment des crues extraordinaires ou périodiques auxquelles tous les cours d'eau sont assujettis, une foule d'obstacles, en s'opposant à leur marche, doivent faire varier ces caractères pour ainsi dire à chaque pas. Si les bords ne présentent aucune résistance, il s'élargit beaucoup, et perd souvent en vitesse et en profondeur ce qu'il gagne en extension. Si, au contraire, il est bordé de rochers durs et rapprochés, sur lesquels son action séculaire n'a pu qu'avec peine lui frayer un passage, on conçoit que son lit doit se rétrécir, augmenter en profondeur, et le courant doit gagner en vitesse ce qu'il perdait auparavant en s'étendant sur un plus vaste espace. C'est ce qui rend assez difficile la détermination de la quantité d'eau que chaque fleuve laisse couler dans un temps donné. On a cependant essayé quelques calculs sur cet objet; ainsi, M. Escher a calculé que la quantité d'eau que le Rhin porte devant Bâle s'élève, année commune, à 1,046,763,676 de cubes de 1000 pieds cubes chacun.

Au port de Syout en Égypte, M. Girard a trouvé le volume du Nil de 678 mètres cubes par seconde, pendant les basses eaux, et de 10,247 mètres cubes lors des inondations ¹.

On évalue à 180,000 pieds cubes la quantité moyenne d'eau que le Gange verse chaque seconde dans la mer. On conçoit facilement quels sont les éléments nécessaires pour calculer la quantité d'eau que donne un fleuve dans un lieu et un temps donnés, et la nature de cet ouvrage ne nous permet pas d'entrer à cet égard dans des considérations pratiques, mais nous ferons cependant quelques observations qui se rattachent à notre sujet.

La vitesse d'un cours d'eau n'est pas la même à toutes les profondeurs; le fillet de vitesse moyenne est d'autant plus rapproché du fond que la paroi du lit est plus irrégulière et plus embarrassée de divers obstacles, et lorsque cette paroi est une surface lisse et

¹ HUMBOLDT, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. VI, p. 301.

² Idem, *Voyage aux régions équinox.*, t. VI, p. 250.

³ Idem, *Voyage aux rég. équinox.*, t. VIII, p. 385.

¹ GIRARD, *sur la vallée d'Égypte*, p. 13.

continue, le filet de plus grande vitesse se trouve toujours à la surface. C'est du moins ce qu'a observé M. de Fontaine pour le Rhin. On lui doit encore une autre observation très-curieuse, c'est que la ligne qui indique la surface de la coupe transversale d'un courant d'eau n'est pas toujours une ligne horizontale. Elle n'a cette forme que dans l'état de l'étale ou état permanent de hauteur d'eau; elle est curviligne convexe lorsque le fleuve est en crue, et curviligne concave lorsqu'il est en baisse.

La vitesse des cours d'eau est d'abord déterminée par la pente seulement, et, à quelques exceptions près, elle est bien plus grande pour les ruisseaux que pour les fleuves. Mais bientôt l'impulsion se communique et s'ajoute à la pente, en sorte que des fleuves considérables coulent avec une pente si faible qu'on peut, dans certains cas, la considérer comme nulle, au point que les eaux paraissent stationnaires, tout en conservant cependant un léger mouvement proportionné à l'impulsion qu'elles reçoivent et à l'inclinaison de leur lit. Cette impulsion devient considérable dans les grands fleuves de l'Inde et de l'Amérique, lors des crues périodiques qui triplent souvent le volume de leurs eaux: on les voit alors marcher bien plus vite que ne le permettrait leur pente, si une énorme pression ne venait accélérer leur mouvement.

M. de Humboldt a trouvé la pente de l'Orénoque de 3 pouces et $\frac{1}{4}$ par mille marin de 930 toises (environ 8 pouces par lieue). Des mesures prises sur le Gange, dans une étendue de vingt lieues, ont donné aussi 8 pouces par lieue, tandis que la vitesse était de une, deux et même près de trois lieues à l'heure, selon la sécheresse ou l'abondance des pluies.

La pente du fleuve de la Magdeleine, dans l'Amérique méridionale, n'est que de 3 pieds par lieue.

Dans certains endroits, le Danube n'a pas 18 pouces de pente pour la même distance.

Le fleuve des Amazones est presque horizontal. On ne lui donne que dix pieds de pente sur deux cents lieues, ce qui fait $\frac{1}{20}$ de pouce sur 1,000 pieds; et cependant en mars, qui est la saison des pluies, il s'élance dans l'Atlantique avec une telle force, que ses eaux sont encore visibles à 120 lieues de l'embouchure, et leur courant y est encore sensible.

La pente de nos rivières ou de nos petits fleuves d'Europe est bien plus forte que celles que nous venons de citer, quoique très-faible encore en certains endroits. La Seine, depuis la Bourgogne jusqu'à Paris, n'a que 2 pieds de pente par lieue de 2000 toises. Sa vitesse, dans les basses eaux, est de 0^m, 6 par seconde (celle d'un homme qui se promène est de 1^m 5 pour le même temps), et elle devient, d'après Picard, trois fois plus grande dans les inondations.

La Loire, entre Pouilly et Briare, a un pied de pente sur 1,230, et un sur 2,266 entre Briare et Orléans¹. Le Rhin entre Schaffouse et Strasbourg descend 4 pieds par mille géographique, et 2 pieds seulement entre Strasbourg et Schenckenschantz, tandis que le Rhône offre une différence de niveau de 3 mètres par lieue.

Ces grandes inégalités qui existent dans l'inclinaison du lit des rivières et des fleuves, expliquent comment un cours d'eau peut arriver dans un autre sans augmenter sa largeur, mais en accélérant son cours; on conçoit aussi que leurs eaux marebent longtemps à côté l'une de l'autre sans se mélanger, et si une rivière rapide vient, sous un angle aigu, s'ouvrir dans une autre, elle pourra momentanément lui opposer une digue, arrêter son cours et la faire refluer vers sa source jusqu'à ce que ses eaux aient acquis derrière ce rempart mobile une puissance capable de le vaincre ou de le compenser, c'est ce qui est arrivé plusieurs fois au Rhône, comme le rapporte Saussure²: « L'Arve est sujette à des crues subites et considérables; on l'a vue quatre fois s'enfler à tel point que ne pouvant pas s'écouler assez promptement entre les collines qui la resserrent au-dessous de sa jonction avec le Rhône, les eaux du torrent refluerent dans le lit du fleuve, le forcèrent à remonter avec elles contre le lac, et firent tourner à contre-sens les moulins construits sur le Rhône. » Une lutte analogue s'établit aussi à l'embouchure des grands fleuves contre les eaux de la mer, ainsi que nous l'avons vu tout à l'heure pour celle de l'Amazone, dont les eaux douces s'é-

¹ MALTERBAUN. t. II, p. 501.

² Voyages, t. I, § 10, p. 13.

tendent au loin. Ici le fleuve est plus fort, tandis qu'en France l'eau salée remonte quelquefois très-loin des côtes où nos petites rivières vont s'ouvrir. Le vent lui-même peut produire un effet semblable, comme on l'a vu plusieurs fois à Saint-Petersbourg, sur la Newa.

DES CRUES PÉRIODIQUES DES COURS D'EAU.

La plupart des cours d'eau sont soumis à des crues accidentelles qui souvent occasionnent de désastreuses inondations. On sent très-bien que de tels accidents ne peuvent provenir d'une augmentation de puissance dans les sources, mais de l'abondance des pluies et de la fonte des neiges. Ces phénomènes n'ont rien de constant dans nos climats. Les rivières débordent au moment où l'on s'y attend le moins, et ces débordements, plus fréquents en été qu'en hiver, sont tellement accidentels, que souvent un ruisseau inonde un grand espace de terrain, tandis qu'un autre coule à côté dans son lit ordinaire. Il n'en est pas de même pour les cours d'eau qui sont situés sous la zone torride. Les contrées dans lesquelles ils prennent naissance sont placées sous un climat tout différent du nôtre; des pluies très-abondantes et de longue durée gonflent les fleuves ou leurs affluents, dont les eaux bourbeuses charrient une masse énorme de débris et de limon.

On sait depuis longtemps que l'Égypte ne doit sa fertilité qu'aux débordements périodiques du Nil; mais un grand nombre de fleuves, et notamment tous les grands cours d'eau de l'Amérique, s'élèvent et s'abaissent comme lui à des époques déterminées. Il est difficile de se faire une idée de la masse d'eau que contiennent les fleuves à cette époque. Le Nil, jauge au port de Syout par M. Girard, lui a donné, comme nous l'avons déjà dit, un *minimum* et un *maximum* de 678 et 10,247 mètres cubes par seconde, c'est-à-dire que ce fleuve non débordé n'est qu'une légère fraction de lui-même à l'époque des crues, puisqu'il fait plus que décupler son volume. Ce fleuve monte de 30 à 35 pieds dans la haute Égypte, de 25 pieds au Caire, et de 4 pieds dans la partie septentrionale du Delta. Les pilotes étrangers admettent 90

pieds pour les crues ordinaires dans le bas Orénoque¹, et l'on ne peut se figurer l'immensité des nappes d'eau qui conviennent alors plusieurs parties de l'Amérique. De grands bâtiments remontent depuis l'Angostura jusqu'à San-Fernando de Apure, et par le Rio Santo-Domingo jusqu'à Torunos, le port de la ville de Varinas. A cette même époque, les inondations des rivières, qui forment un dédale d'embranchements entre l'Apure, l'Arauca, le Capanaparo et le Sinaruco, couvrent un pays de près de quatre cents lieues carrées². Les forêts sont inondées, on les parcourt en canots, et les poissons viennent nager au milieu des buissons qui, plus tard, supporteront les nids des oiseaux.

C'est toujours à une époque réglée que les inondations ont lieu. Il y a déjà 250 ans que des colons européens sont établis près des bouches de l'Orénoque; et pendant ce long espace de temps, d'après une tradition qui s'est propagée de génération en génération, les oscillations périodiques du fleuve (l'époque du commencement des crues et celle où elles atteignent le *maximum*) n'ont jamais retardé de plus de douze à quinze jours³.

« La cause des crues périodiques de l'Orénoque agit également sur tous les fleuves qui naissent sous la zone torride. Après l'équinoxe du printemps, la cessation des brises annonce la saison des pluies; l'accroissement des rivières, que l'on peut considérer comme des *ombromètres* naturels, est proportionnel à la quantité d'eau qui tombe dans les différentes régions. Au centre des forêts du haut Orénoque et du Rio Negro, cette quantité parait excéder 90 à 100 pouces par an; aussi, ceux des naturels qui ont vécu sous le ciel brumeux de l'Esmeralda et de l'Atabapo, savent, sans avoir la moindre notion de physique, ce que savaient jadis Eudoxe et Eratosthène, que les inondations des grands fleuves sont dues aux seules pluies équatoriales. »

Voici ce que dit M. de Humboldt de la marche ordinaire des oscillations de l'Oré-

¹ Humboldt, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. VIII, p. 406.

² Idem, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. VI, p. 165.

³ Idem, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. VIII, p. 609.

noque : « On s'aperçoit, aussitôt après l'équinoxe du printemps (le peuple dit le 23 mars), du commencement des crues. Elles ne sont d'abord que d'un pouce par 24 heures ; quelquefois la rivière baisse de nouveau en avril ; elle atteint son *maximum* en juillet, reste pleine (au même niveau) depuis la fin de juillet jusqu'au 23 août ; puis elle décroît progressivement, mais avec plus de lenteur qu'elle n'a augmenté. Elle est à son *minimum* en janvier et février. Dans les deux mondes, c'est à peu près à la même époque que les rivières de la zone torride boréale parviennent à la plus grande hauteur. Le Gange, le Niger et la Gambie atteignent le *maximum*, comme l'Orénoque, dans le mois d'août. Le Nil retarde de deux mois, soit à cause de quelques circonstances locales dans le climat de l'Abysinie, soit à cause de la longueur de son cours, depuis le pays de Berber, ou les 17° de latitude, jusqu'à la bifurcation du *Delta*. Les géographes arabes assurent que, dans le Sennaar, et en Abyssinie, le Nil se gonfle dès le mois d'avril (à peu près comme l'Orénoque) ; cependant les crues ne deviennent sensibles au Caire que vers le solstice d'été ; elles atteignent la plus grande hauteur à la fin du mois de septembre ; la rivière se maintient au même niveau jusqu'à la mi-octobre ; elle est au *minimum* d'avril en mai, à une époque où les fleuves de la Guyane commencent déjà à gonfler.

On voit par cet exposé rapide, que, malgré le retard causé par la forme des canaux naturels et par des circonstances climatériques locales, le grand phénomène des oscillations des rivières de la zone torride est le même partout ¹.

DE L'EMBOUCHURE DES FLEUVES.

Un fleuve commence à une source et se termine dans la mer. Nous venons de voir les phénomènes que nous présente son cours ; étudions maintenant les particularités que l'on remarque à son *embouchure*. On sait qu'on nomme ainsi le point de réunion d'un fleuve avec la mer, tandis qu'on donne le

nom de *confluent* à toute jonction de deux cours d'eau. Il arrive quelquefois que certains cours d'eau n'ont ni confluent ni embouchure, c'est-à-dire qu'ils se perdent tout à coup dans l'intérieur des terres ou dans des cavernes. Nous reviendrons sur cet objet en parlant des eaux souterraines.

Lorsque deux rivières se joignent, on peut quelquefois les suivre de l'œil après leur mélange, par la couleur différente des eaux ; c'est ce qui arrive souvent à Lyon pour le Rhône et la Saône. La même chose a lieu quand un fleuve se jette dans la mer. Nous avons déjà parlé de l'Amazone, qui semble couler encore dans l'Océan, ayant pour rives l'eau salée avec laquelle elle semble ne se mêler qu'à regret. Le Danube présente en petit le même phénomène que renouvelle encore la petite rivière Syre, en Norvège ². Malgré l'impulsion qui lance ainsi ces eaux douces dans la mer, le flux se fait sentir avec une grande intensité à l'embouchure de la plupart des fleuves, et la marée montante s'élève à une grande distance du rivage dans l'intérieur des terres. Ainsi, dans l'Indus, elle remonte à 23 lieues, et à 30 dans le Gange. Dans l'Orénoque, le flux et le reflux se font sentir au mois d'avril, lorsque la rivière est la plus basse, jusqu'au delà de l'Angostura, à la distance de plus de 83 lieues dans l'intérieur des terres. Au confluent du Carony, à 60 lieues des côtes, les eaux s'élèvent par reflux à 1 pied 3 pouces de hauteur ³.

Dans l'Amazone, à la même époque, elles sont encore sensibles à 200 lieues. Il est vrai que sur cette énorme distance sa pente n'est que de quelques pieds ; mais les oscillations des marées remontent comme sur un plan incliné bien au-dessus du niveau auquel se maintiennent les eaux de la mer à l'embouchure des fleuves. C'est un fait qui a été parfaitement démontré pour la Garonne. Le vent, soufflant avec force, ajoute quelquefois à cette puissance des marées et oppose une barrière insurmontable aux eaux des fleuves ; elles augmentent alors avec une incroyable rapidité,

¹ PORTOFFIDAN, *Hist. nat. de la Norvège*, t. I, p. 145.

² HUMBOLDT, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. VIII, p. 589.

³ HUMBOLDT, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. VIII, p. 390.

et causent de grands désastres dont la Newa a souvent donné des exemples, en jetant des vaisseaux sur les quais de St.-Petersbourg, et en inondant la ville presque entière, comme cela est arrivé en 1824.

Il résulte souvent de cette lutte des eaux qui descendent des continents et de celles que la marée soulève, un phénomène particulier que l'on désigne sous le nom de *barre*; on le remarque à l'embouchure de la Seine, de l'Orne, du Gange, etc. Il consiste en ce qu'un moment du flux, une ou plusieurs vagues, quelquefois très-élevées, s'avancent avec impétuosité contre les eaux douces, et les font refluer à des distances souvent très-grandes. La disposition des rives du fleuve, et probablement des sables amoncelés à son entrée, contribuent à former la barre qui, dans quelques localités, acquiert une certaine violence. C'est ce qui arrive pour la Gironde, au-dessous de Bordeaux, où l'on voit la barre, plus connue sous le nom de *Mascaret*, rouler en arrière, inonder les rivages et balotter les vaisseaux. On la voit aussi remonter le fleuve Zaire, en Afrique; mais, tandis qu'il s'établit sur ses deux rives deux courants onduleux qui remontent vers sa source, les eaux du milieu continuent de couler dans la mer, en sorte que l'effet de la marée ne doit pas se faire sentir bien loin dans l'intérieur des terres.

« Le plus beau phénomène de ce genre, dit Maltebrun, est celui qu'offre le géant des fleuves, l'Orellana ou rivière des Amazones. Deux fois par jour il verse ses ondes, ou pour

mieux dire, ses mers prisonnières, dans le sein de l'Océan; une montagne liquide s'élève à la hauteur de 50 toises; elle se rencontre assez souvent avec la marée montante de la mer; le choc terrible de ces deux masses d'eau fait trembler toutes les îles d'alentour; les pêcheurs, les navigateurs s'éloignent avec effroi. Le lendemain ou le surlendemain de chaque nouvelle ou pleine lune, temps où les marées sont les plus fortes, l'Orellana semble aussi redoubler de puissance et d'énergie; ses eaux et celles de l'Océan se précipitent au combat comme deux armées; les rivages sont inondés de leurs flots écumeux; les rochers, entraînés comme des galets légers, se heurtent sur le dos de l'onde qui les porte; de longs mugissements roulent d'île en île: on dirait que le génie du fleuve et le dieu de l'Océan se disputent l'un à l'autre l'empire des flots. Les Indiens désignent ce phénomène sous le nom de *Pororoca* ¹. »

Les fleuves forment aussi, à leur embouchure, des dépôts puissants de tous les matériaux qu'ils charrient. Tantôt ce sont des bancs de sable que déposent les eaux, tantôt des forêts entières qu'ils amoncellent et qu'ils compriment sous des masses de galets; d'autres fois ce sont des terrains ou de vastes deltas, qui chaque année s'agrandissent, et forment des terres vierges et fertiles dont l'homme vient s'emparer. Nous reviendrons plus loin sur ces importantes considérations.

¹ MALTEBRUN, t. II, p. 307.

CHAPITRE QUATRIÈME.

DES CHUTES D'EAU.

La différence de niveau qui existe quelquefois dans le sol, donne naissance à des chutes d'eau d'autant plus remarquables que cette différence est plus grande et plus brusque, et que la masse d'eau est plus considérable ; ou donne à ces chutes le nom de *cascade*, de *sauts*, *chutes*, *cataractes* ou *rapides*, dont nous avons déjà donné la définition. On rencontre principalement les chutes au point de jonction de deux terrains différents, sur le bord des terrains primitifs, aux points de réunion des terrains de sédiment ; sur les bords des plateaux basaltiques, des coulées volcaniques dont l'épaisseur forme ordinairement la hauteur de la chute.

Lorsqu'il y a tout à coup solution de continuité dans le sol, l'eau s'élance et forme une sorte d'arc mobile et transparent, sous lequel on peut passer sans être mouillé ; quelquefois même il existe des grottes ou des cavernes assez étendues dans lesquelles on peut pénétrer et d'où l'on peut jouir du singulier spectacle de la cascade. M. de Humboldt en cite un exemple très-remarquable sur les bords de l'un des plus grands fleuves du Nouveau-Monde :

« Ce site offrait une des scènes de la nature des plus extraordinaires que nous ayons rencontrées sur les bords de l'Orénoque. Le fleuve roulait ses eaux au-dessus de nos têtes : on aurait dit de la mer qui se brise contre des rescifs ; mais, à l'entrée de la caverne, on pouvait se tenir à sec à l'abri d'une large nappe d'eau qui se précipitait en arc au-dessus du barrage. Dans d'autres cavités plus profondes, mais moins vastes, la roche avait été percée par l'effet des infiltrations successives. Nous vîmes des colonnes d'eau, de 8 à 9 pouces de largeur,

» descendre du haut de la voûte et trouver une issue par des fentes qui semblent communiquer entre elles à de grandes distances.

» Les cascades d'Europe, qui ne présentent qu'un saut unique ou plusieurs sauts très-rapprochés, ne peuvent donner lieu à des accidents de paysage aussi variés. Ces accidents sont propres aux *rapides*, à une suite de petites cataractes qui occupent plusieurs milles de longueur, à des fleuves qui se traçent un chemin à travers des digues rocheuses et des blocs superposés ¹. »

Si le terrain est étagé, l'eau tombe successivement sur chacun des plans, et s'élance en bouillonnant sur l'étage inférieur, jusqu'à ce qu'elle arrive enfin sur un plan qui lui rende son cours ordinaire. Ce sont ces chutes que l'on désigne plus spécialement sous le nom de *cataractes*. Les plus belles sont peut-être celles de Maypures, sur l'Orénoque ; elles n'offrent pas, comme le saut du Niagara, haut de cent quarante pieds, la chute d'un énorme volume d'eau qui se précipite à la fois tout entier ; ce ne sont pas non plus des défilés étroits, à travers lesquels le fleuve fuit en accélérant son cours, comme au Pouyo de Manserichi, de la rivière des Amazones ; elles se forment d'une quantité innombrable de petites cascades, qui se suivent en tombant de degrés en degrés ². On en a une vue magnifique de la petite montagne de Manimi.

« Nous avons souvent visité cette montagne, dit M. de Humboldt, car on ne se lasse

¹ HUMBOLDT, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. VIII, p. 278.

² Idem, *Tableaux de la nature*, t. I, p. 242.

» point de la vue de ce spectacle extraordinaire, caché dans un des coins les plus reculés du monde. Arrivé à la cime des rochers, les yeux mesurent soudainement une nappe d'écume d'un mille d'étendue; d'énormes masses de roches, noires comme le fer, sortent de son sein; les unes sont des mamelons groupés deux à deux, semblables à des collines basaltiques; les autres ressemblent à des tours, à des châteaux forts, à des édifices en ruine; leur couleur sombre contraste avec l'éclat argenté de l'écume des eaux; chaque roche, chaque îlot est couvert d'arbres vigoureux et réunis par bouquets. Du pied de ces mamelons, aussi loin que porte la vue, une fumée épaisse est suspendue au-dessus du fleuve; à travers le brouillard blancâtre s'élance le sommet des baux palmiers ¹. »

Enfin, on voit aussi plusieurs chutes dans lesquelles les eaux glissent sur une pente rapide, sans s'en écarter.

« Les rapides ne s'opposent pas toujours à la navigation; s'il est impossible de les remonter, on peut quelquefois les descendre et les franchir. Le sauvage dans son canot d'écorce, le créole dans une chaloupe élégante et légère, le commerçant dans sa barque chargée des productions agricoles et de celles de l'industrie, s'élancent sans crainte sur cette espèce de gouffre qui semble prêt à les engloutir; ils regardent avec indifférence les tourbillons et la vélocité du fleuve si terrible pour le voyageur étranger à cette navigation ². »

Les terrains qui se trouvent soumis à l'action séculaire des eaux qui en enlèvent continuellement des parcelles, diminuent constamment de hauteur, quelque dureté que présentent les rochers, ils finissent par s'user; de gros blocs s'en détachent, entraînés par les eaux, et se précipitent avec elles. La hauteur des cascades doit donc toujours diminuer, et elles avaient sans doute autrefois une élévation qu'elles n'ont plus aujourd'hui. Peut-être dans la suite des siècles regardera-

ton comme des fictions les descriptions du saut du Niagara, des cataractes du Nil, et celles de toutes ces belles cascades des Alpes et des Pyrénées.

En dessous des cascades, au point où l'eau vient frapper le sol, il existe ordinairement une cavité très-profonde qui, dans quelques localités, est creusée dans le roc et forme souvent un bassin d'une seule pièce, dont l'eau ne sort jamais; mais il arrive aussi assez fréquemment que les blocs détachés et amoncelés par la chute de l'eau, comblent en partie ce bassin et diminuent ainsi sa profondeur.

DE LA TEMPÉRATURE ET DE LA COMPOSITION DES EAUX COURANTES.

Les eaux qui coulent à la surface du sol changent continuellement de température. Tout le monde sait que les rivières s'échauffent beaucoup au soleil, et il en est de même de certains ruisseaux; il faut cependant pour cela qu'ils soient déjà à une certaine distance de leurs sources. Les ruisseaux amènent dans les rivières des eaux dont la température est différente; les rivières s'échauffent elles-mêmes, et par conséquent la moyenne de température qu'elles présentent ne peut être établie que par des observations continuellement répétées, car un ruisseau peut tout à coup y amener de l'eau froide, pendant qu'un autre, arrivant dans une autre direction, y versera un liquide dont la température sera plus élevée. On a remarqué que l'eau dormante s'échauffe bien plus vite que l'eau courante, et qu'une grande rivière, calme et peu rapide, acquiert bientôt une température plus élevée qu'une petite masse d'eau qui coule avec rapidité, et présente successivement toutes ses surfaces au soleil. Il paraît que dans ce dernier cas, l'évaporation plus grande enlève au liquide la majeure partie de sa chaleur pour la faire passer à l'état latent.

S'il est difficile de prévoir la température d'un cours d'eau, il est plus difficile encore d'en prévoir la nature; car déjà nous avons vu, en parlant des sources, combien leur composition était variée: tant que l'eau n'est qu'à une petite distance de son point de sor-

¹ HUMBOLDT, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. VII, p. 170.

² LAMOUROUX, *Résumé d'un cours élémentaire de géographie physique*.

tie, elle doit avoir sensiblement la même composition ; mais quand elle s'en éloigne elle peut perdre par l'évaporation ou par le changement de température les corps gazeux qu'elle contenait ; elle peut laisser déposer des principes qu'elle tenait en dissolution en sortant du sol. D'un autre côté, elle peut dissoudre de l'air atmosphérique ; elle doit se charger des principes solubles contenus dans le terrain qu'elle parcourt, et entraîner en suspension des matières terreuses, des substances végétales et animales qui s'y dissolvent en partie. Enfin, si deux eaux contenant des substances antipathiques viennent à se mêler, il en résultera nécessairement des décompositions qui changeront encore la nature du liquide.

L'eau des rivières, et bien plus celle des fleuves, renferme donc une grande quantité de matières diverses, mais elles s'y trouvent contenues en si petite quantité, que la chimie peut à peine les découvrir. Aussi les analyses d'eau courante qui ont été faites, donnent toujours à peu près les mêmes principes et en très-petite quantité. Malgré leur long trajet, malgré tous les terrains qu'ils traversent et les matériaux variés qu'ils reçoivent, les fleuves ont une eau généralement pure, ou du moins contenant peu de matières calcaires. Les sels que l'on y rencontre constamment sont les hydrochlorates qui se trouvent entraînés jusque dans l'Océan, à raison de leur grande solubilité.

CHAPITRE CINQUIÈME.

QUELQUES CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LES COURS D'EAU.

L'immense réseau de cours d'eau qui s'étend sur les continents, offre une énorme puissance d'érosion, continuellement employée à corroder le sol et à charrier ses débris. Aussi l'on voit partout les traces de cette action par la présence de ces cailloux roulés que l'on nomme galets, et qui sont, avec les sables, les principaux dépôts des ruisseaux et des rivières. Partout nous voyons les preuves de ce transport, et surtout à l'embouchure des fleuves.

Les bouches du Danube traversent des bancs qui obstruent son entrée.

Le Pô, en Italie, se forme un petit delta qui s'étend jusqu'à l'Istrie.

Le Rhône, après avoir déposé les débris des Alpes dans le lac de Genève, charrie encore, dans la Méditerranée, les fragments des terrains qu'il parcourt ; son embouchure est presque comblée, ses eaux divisent son delta et y creusent des canaux pour se rendre à la mer.

L'Adour comble son embouchure ; la Garonne y amène une foule de débris qui s'étendent jusque dans l'Océan et lui forment de nouveaux rivages.

Le delta de la Loire envahit Noirmoutiers.

Dans le golfe de Bothnie, la rivière Tornea pousse son delta, et, secondée par les rivières de la Suède et de la Finlande, elle a tellement obstrué le golfe, qu'il n'est plus navigable pour les gros vaisseaux.

Les cours d'eau qui donnent ainsi naissance à de nouveaux terrains, ne creusent donc pas leur lit, comme on le suppose généralement ; il est impossible, par exemple, que les grands fleuves aient ouvert eux-mêmes les larges vallées qu'ils arrosent ; ils tendent au contraire à les combler, en déposant, pendant leur cours, les nombreux matériaux de transport que les eaux pluviales y conduisent continuellement.

Il est prouvé par des fouilles faites à Coblentz, en 1778, que les bords des Romains,

jadis au niveau du Rhin, étaient, à cette époque, à deux ou trois mètres au-dessous de ce niveau. On sait que les monuments antiques des rives du Tibre sont actuellement, en tout ou en partie, ensevelis sous les atterrissements de ce fleuve. Des faits tout aussi incontestables attestent que le Rhône, l'Euphrate, surtout le Nil et les rivières de l'Amérique, encombrent continuellement leur lit en y accumulant les terrains de transport. La raison de cet exhaussement du fond des vallées est fort simple : lorsqu'une rivière a encombré son cours par l'accumulation des matériaux de transport, elle coule à côté ou change entièrement de lit; par ces changements continus, elle ne cesse d'exhausser le bord de la vallée dont elle finit ainsi par changer la face entière.

Il ne faudrait cependant pas conclure de là que tous les cours d'eau agissent de la même manière; car, du moment où une rivière dépose des matériaux, il faut qu'ils aient été pris quelque part, et si elle exhausse en un point, elle a creusé dans un autre. C'est précisément ce que l'on voit tous les jours, et c'est seulement la pente du terrain et la force d'impulsion du cours d'eau qui déterminent l'une ou l'autre de ces deux actions. Si le sol offre une pente rapide, l'eau creuse, corrode et emporte les débris, qu'elle dépose à mesure que sa vitesse diminue, que la force d'impulsion se ralentit et que le sol a moins d'inclinaison. On conçoit aisément que les fragments les plus gros sont ceux qui sont entraînés et déposés les premiers; tels sont les blocs de roches et les cailloux roulés, tandis que les graviers, les sables et les parties les plus ténues obéissent plus lentement dans les deux cas à la force de pesanteur qui les entraîne sur une pente et qui les abandonne sur une surface plane. Les vallées des montagnes, ou du moins les ravins qui sillonnent leurs flancs, ont donc souvent été creusés ou du moins agrandis par les eaux, tandis que les grandes vallées continentales sont dues presque toutes à des causes de dislocation que nous étudierons par la suite; ce sont de grandes fissures du globe que les eaux ont en partie comblées. L'action cor-

rosive des fleuves devient pourtant très-remarquable quand ils rencontrent des obstacles, tels que des roches qui s'opposent à leur passage; ils les corrodent et finissent quelquefois par s'y frayer une issue. C'est ainsi que la cataracte des Alleghanis et les Montagnes Bleues, en Amérique, sont traversées par le James, la Susquehanna, la Delaware, etc. Le Potomac traverse également les Montagnes Bleues, et la grande échancreure qu'il y a faite frappa Volney, lors de son voyage en Amérique.

Dans d'autres circonstances, les cours d'eau se sont ouverts des issues souterraines, comme nous le verrons en parlant des cavernes. Mais ce qui frappe le plus celui qui cherche à démêler la vérité au milieu du désordre apparent de la nature, c'est la faiblesse de nos grandes rivières auprès des anciens cours d'eau.

Tous les fleuves ont laissé des traces incontestables qui témoignent de leur ancienne puissance, et qui prouvent qu'ils remplissaient en entier le bassin des larges vallées où ils ne font que serpenter aujourd'hui. Pazuot a reconnu, par les sillons que portent encore les roches de la forêt de Ronceau, que la Seine les baignait autrefois à 80 pieds plus haut qu'aujourd'hui, et son volume, nécessairement proportionné à cette élévation, l'emportait considérablement sur celui qu'elle présente maintenant.

Que l'on compare aussi le Rhône actuel avec ce qu'il fut dans ces temps reculés où il remplissait de galets quartzeux une vallée de trois ou quatre lieues de large, et que bordent aujourd'hui des collines composées de ces mêmes galets, qui s'élèvent à plus de 500 mètres au-dessus de son lit actuel.

De Saussure était tellement frappé de l'énormité de ces débris, qu'il les attribuait à un grand cataclysme produit par l'irruption des eaux de l'Océan, bien qu'on sache maintenant que la mer n'y est pour rien.

Un des dépôts les plus remarquables de cette nature est celui dont est composée la montagne de Rigiberg, située sur les bords du lac de Lucerne, au débouché de la grande vallée du Muttenthal : elle a 8 lieues de circonférence sur près de 1500 pieds au-dessus de la surface du lac; toute sa masse est com-

* CHAUDARD, *Éléments de Géologie*, p. 162.

posée de cailloux roulés, disposés en couches horizontales, et elle forme une sorte de delta à l'extrémité du puissant courant qui dut remplir autrefois cette immense vallée.

M. de Humboldt, qui a étudié avec tant de sagacité un monde qui semble moins vieux que notre ancien continent, n'a pas manqué de remarquer cette grande puissance des eaux.

« Ce qui est indubitable, dit-il, ce qui a frappé l'imagination de tous ceux qui habitent ces contrées, c'est qu'à Carichana, à San-Borja, à Atures et à Maypures, là où le fleuve s'est frayé un chemin à travers les montagnes, on voit à cent et quelquefois à cent trente pieds au-dessus des plus hautes crues actuelles, des bandes noires et des érosions qui indiquent l'ancien séjour des eaux. Cette rivière de l'Orénoque, qui nous paraît si imposante et si majestueuse, ne serait donc qu'un reste de ces immenses courants d'eau douce qui, gonflés par des neiges alpines ou par des pluies plus abondantes, partout ombragés d'épaisses forêts, dépourvus de ces

plages qui favorisent l'évaporation, traversaient jadis le pays à l'est des Andes, comme des bras de mer intérieurs. Quel doit avoir été alors l'état de ces basses contrées de la Guyane qui éprouvent aujourd'hui les effets des inondations annuelles ? »

Qu'on se rappelle que le bassin de l'Amazonie, qui surpasse de quinze fois l'étendue de la France, devait alors être réuni à celui de l'Orénoque, puisque le Cassiquiari et plusieurs autres rivières établissent des relations entre eux. Qu'on songe que le fleuve St.-Laurent, nivelant les grands bassins qu'il remplit encore aujourd'hui, formait, avec le Mississipi, une vaste mer d'eau douce, et l'on verra quelle immense quantité d'eau circulait autrefois sur notre planète; quelle masse de puissance, de force d'érosion, quelle prodigieuse création de vapeurs, et par suite, quelles sources de pluie et de fluide électrique! Nous verrons plus loin si une élévation de température n'expliquerait pas les merveilles de ces époques reculées.

CHAPITRE SIXIÈME.

DES LACS.

Le nom de *lac* s'applique pour ainsi dire à tous les amas d'eau qui sont à la surface du globe, mais il faut convenir que si on ne peut nettement définir ce qu'on entend par cette expression, il y a une bien grande différence entre tous les objets que l'on réunit sous cette dénomination. L'eau qui sort des sources ou que la pluie répand sur le sol, celle qui résulte de la fonte des neiges ou des glaciers, ne forme pas toujours des ruisseaux et des rivières; elle peut aussi se rassembler dans de petites cavités sans issues, et former des *mares*; mais ce terme, outre qu'il indique de très-petits amas d'eau, emporte avec lui l'idée d'un petit bassin qui se dessèche et

se remplit un grand nombre de fois, que les pluies seules alimentent, et qui par conséquent est soumis d'une manière très-directe à toute l'influence des saisons. Une mare, si petite qu'elle soit, dès qu'elle est alimentée d'une manière continue par une source, prend le titre de *lac*. Ceux-ci pourtant ne sont le plus souvent que l'élargissement du bassin d'une rivière, qui entre d'un côté et qui s'échappe de l'autre. S'il existe une digue artificielle, c'est un *étang*, quelle que soit son étendue. Si au lieu d'avoir des bords bien limités l'eau s'étend

* HUMBOLDT, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. VI, p. 373.

sur une large surface qu'elle reconvre à peine, elle forme un *marais*. Les lacs sont très-répandus, très-rapprochés dans quelques contrées, et ils se trouvent sur tous les terrains. On les rencontre au milieu des plaines, occupant des dépressions du sol ou des bassins plus ou moins étendus. Ils existent, pour ainsi dire, dans toutes les chaînes de montagnes, ou du moins à une petite distance; ils y semblent plus communs qu'ailleurs, comme si les montagnes, à l'époque de leur soulèvement, avaient laissé des vides à leur pied. On en rencontre fréquemment dans les vallées élevées, et là ce sont en général des bassins qu'une rivière remplit, pour s'échapper ensuite d'un autre côté, comme le lac de Genève. On en voit aussi au sommet des montagnes, à de très-grandes hauteurs, mais alors ils sont en général peu étendus; ce sont plutôt des mares d'eau pure, qui résultent de la fonte des neiges et qui sont au voisinage des glaciers.

Les lacs sont alimentés de différentes manières, et, sous ce rapport, on les partage en quatre classes.

1°. Lacs où il entre et d'où il sort une rivière.

Ce sont les plus nombreux et les plus considérables; ils se trouvent ordinairement dans des vallées ou dans des plaines voisines de grandes chaînes de montagnes: tel est le lac de Genève que traverse le Rhône.

Quelquefois on observe plusieurs élargissements successifs de la vallée, et le lac paraît étranglé ou formé de plusieurs bassins, comme celui de Lucerne traversé par la Reuss, qui remplit successivement trois bassins, et auquel communiquent encore deux autres lacs latéraux.

L'Aar traverse aussi successivement les lacs de *Brienzi* et de *Thoun*. Le *Limatt* se comporte de même à l'égard des lacs de *Wälensstadt* et de *Zurich*. On sait que le lac de *Constance* est traversé par le Rhin, et le lac *Majeur* par le *Thésin*.

Le lac de *Côme* est alimenté par l'*Adda*, qui en sort ensuite comme le *Mincio* sort du lac de *Garde*.

Du côté de la France, on voit le lac de *Joux* dans une haute vallée du Jura. Il est remarquable par sa situation à 1,900 pieds au-

dessus du lac de Genève, et par une autre circonstance singulière qu'il présente. Il est traversé par la rivière d'*Orbe*, qui en sortant de ce lac s'engouffre dans de vastes entonnoirs que les eaux ont pratiqués dans des couches de pierre calcaire, qui sont actuellement dans une situation verticale; et cette même rivière, après un cours caqué de trois quarts de lieue, va ressortir dans une vallée inférieure à 680 pieds au-dessous des entonnoirs, par lesquels elle est entrée dans son canal souterrain. De là elle va traverser les lacs de *Neuchâtel* et de *Bienne*, dont elle a peut-être autrefois creusé les bassins, de même qu'elle a formé celui du lac de *Joux*, et comme probablement elle en mine encore un autre dans cet espace de trois quarts de lieue, où elle coule entre des couches de rochers qu'elle ne cesse de corrodier et d'excaver, et qui, dans les siècles futurs, éprouveront peut-être à leur tour un affaissement beaucoup moins considérable que les précédents, attendu que le volume des eaux de l'*Orbe* a prodigieusement diminué comme celui des autres rivières.

Les lacs dont nous venons de parler appartiennent aux Alpes, mais toutes les contrées montagneuses de l'Europe en renferment aussi un assez grand nombre.

La Suède en offre plusieurs qui sont traversés par des rivières.

L'Asie boréale en a deux fort considérables: le lac *Norzaïssan* dans la Tartarie chinoise, à la base méridionale de la chaîne des monts *Altai*, où il est traversé par l'*Irtyche* et le lac *Baikal*, dans la Sibérie orientale, qui est traversé par l'*Angara*. Ce lac, que quelques géographes considèrent comme une Méditerranée, est un des plus grands de l'ancien continent. Il a plus de 100 lieues de longueur sur une largeur moyenne de 13 à 18 lieues; sa profondeur est considérable. *Patrin*, qui l'a traversé et auquel nous empruntons une partie de ces détails sur les lacs, n'en a pas trouvé le fond avec une sonde de 600 pieds.

L'Amérique renferme également un grand nombre de lacs; le Canada en présente de très-vastes qu'alimentent de grands fleuves; tels sont les lacs *Supérieur*, *Huron*, *Erie*, *Ontario*, qui semblent n'être que les bassins successifs de la large vallée du fleuve Saint-Laurent.

2°. Lacs d'où sortent des rivières sans qu'ils en reçoivent.

Ces lacs reçoivent leurs eaux par des canaux souterrains, qui peuvent en amener, dans certains cas, de grandes quantités. Des sources cachées peuvent aussi les alimenter, et lorsque ces lacs sont profonds, il peut arriver pour eux ce qui a lieu dans le sondage des puits artésiens, quand on atteint la couche qui s'opposait à l'épanchement du liquide; c'est-à-dire qu'ils peuvent, dans certains cas, être considérés eux-mêmes comme des puits artésiens, extrêmement élargis par le haut, et recevant par leur fond l'eau qui s'infiltre dans des terrains plus élevés.

Il sort quelquefois de ces lacs des rivières considérables; tel est le lac *Seliger*, dans le gouvernement de Twed, à 60 lieues N.-O. de Moscou, qui donne naissance au Volga, le plus grand fleuve de l'Europe, quoiqu'il ne se jette, visiblement, aucune rivière dans ce lac.

Tels sont les lacs appelés Koko-Nor, au pied de la croupe orientale des montagnes du Thibet, d'où sortent le *Honan* et le *Kiang*, deux des plus grands fleuves de l'Asie, qui traversent tout l'empire de la Chine et vont se jeter dans la mer du Japon.

Tels sont les deux petits lacs de la nouvelle Castille, qu'on nomme les *Yeux de la Guadiana*, qui sont voisins de la chaîne des montagnes d'Alcarraz, et qu'on regarde comme les sources de ce grand fleuve.

Tel est encore le lac du *Mont-Cenis*, qui, à la vérité, ne donne pas naissance à une bien grande rivière, mais qui est remarquable par son élévation à 6,000 pieds au-dessus du niveau de la mer; ce lac et la *Cenise* qui en sort sont entretenus par les eaux que des canaux souterrains y conduisent, et qui descendent des sommités voisines, qui sont aussi élevées au-dessus du lac que celui-ci l'est au-dessus des plaines du Piémont.

On voit dans les Pyrénées des lacs qui ressemblent beaucoup à celui-ci et d'où s'échappent également de petites rivières ou des torrents. Tels sont ceux de *Liens*, de *Las-Cougous* et d'*Oncet*, dans les montagnes qui sont au-dessus de Barrèges: leur élévation est très-grande.

3°. Lacs qui reçoivent des rivières sans qu'ils en sorte.

On peut donner la théorie de ces lacs de deux manières. Ou bien les eaux se perdent et s'échappent par des conduits souterrains, ou bien l'évaporation compense exactement la quantité d'eau qui arrive. Il est probable que ces deux causes agissent souvent ensemble.

On cite plusieurs lacs de cette nature dans la Tartarie chinoise: le lac *Asphaltique*, plus connu sous le nom de *mer Morte*, et la *mer Caspienne* elle-même peuvent être considérés comme des exemples de ces sortes de lacs. On cite encore, au Pérou, le lac de *Titicaca*, dans lequel se perdent plusieurs petites rivières.

Il est présumable que les lacs qui offrent maintenant ce caractère, avaient autrefois des dégorgeoirs plus ou moins considérables, et il est possible que ceux dont il sort maintenant des rivières, finissent par ne plus produire que des ruisseaux, qui tariront eux-mêmes à mesure que les eaux diminueront à la surface de la terre.

4°. Lacs où il n'entre et dont il ne sort aucune rivière.

Il existe peu de lacs de cette espèce, et la plupart d'entre eux n'ont que de petites dimensions. On en cite un assez vaguement au sommet du pic d'Adam, dans l'île de Ceylan; on le dit profond et d'une eau très-pure¹.

La plupart de ces lacs sont des cratères de volcans éteints, dans lesquels l'eau s'est accumulée. Dolomieu en cite un près de Coïmbre, en Portugal. Il en existe beaucoup en Italie, et l'on en a trouvé plusieurs en Auvergne: le plus remarquable de cette contrée est celui de la *Godivelle*, à 15 lieues de Clermont.

On en trouve aussi plusieurs dans l'Elle, contrée qui a de si grands rapports avec l'Auvergne. Voici ce que rapporte M. J. Reynaud dans son intéressant Mémoire sur les formations volcaniques des bords du Rhin:

« Les environs de Daun sont particulièrement intéressants par la présence de trois

¹ RIBBIO, *Histoire du Ceylan*.

» lacs de la nature de celui de Dreis dont j'ai
 » fait mention tout à l'heure. Celui dont
 » je donne le croquis et dont le nom est, à
 » ce que je crois, Gemünder-Maar, semble,
 » an premier aspect, occuper le fond d'un
 » cratère véritable (fig. III), et produit une
 » délicieuse impression par l'aspect de ses
 » eaux fraîches et limpides, peuplées de trou-
 » pes nombreuses d'oiseaux aquatiques et de
 » poissons qui y vivent dans un repos que
 » l'homme vient rarement troubler. Les bords
 » du cratère présentent des forêts qui garnis-
 » sent presque tout son intérieur; la roche est
 » une grauwacke assez solide, dont la stratifica-
 » tion ne paraît pas très-altérée, comme si la
 » trouée qui s'est faite à travers ses couches
 » avait eu lieu par l'explosion d'une force sou-
 » daine. Le fond de l'entonnoir et tous les bords
 » sont recouverts d'une grande quantité de pe-
 » tits fragments de grauwacke cuits et d'une ap-
 » parence souvent un peu vitrifiée, mais son-
 » vent aussi encore anguleux sur leurs bords.
 » On trouve sur les flancs de la montagne,
 » surtout en dehors du cratère, une assez
 » grande quantité de boules irrégulières de
 » laves porceuses et d'autres boules de diverses
 » sortes, composées de pyroxène ou d'amphi-
 » bole. Le diamètre supérieur de l'entonnoir
 » peut être d'un kilomètre environ, et sa
 » forme générale présente assez d'analogie
 » avec la trace que laisserait dans le sol une
 » fougasse gigantesque.

» Un autre lac beaucoup plus grand (Wein-
 » Felder-Maar), se trouve à un kilomètre de
 » distance de celui-ci; il est placé à un niveau
 » plus élevé sur le sommet de la montagne;
 » sa forme est aussi bien déterminée, mais
 » il n'est pas aussi pittoresque; ses parois, qui
 » sont beaucoup plus escarpées que celles du
 » lac précédent, et trop rapides pour soutenir
 » une aussi belle végétation, sont formées
 » par une grauwacke toute semblable.

» Le troisième lac (Schalkenmehrener-
 » Maar), est placé dans la plaine, et ne pré-
 » sente pas des caractères aussi tranchés que
 » les deux précédents; une bonne partie de son
 » contour ne présente aucune éminence et se
 » continue à peu près avec le niveau de la plaine;
 » il est inutile de dire que celui-ci donne
 » naissance à un petit ruisseau qui emporte
 » l'excès de ces eaux. Un village est bâti sur

» ses bords, et les prairies qui l'environnent
 » lui donnent toute l'apparence de ces étangs
 » que l'on rencontre si fréquemment dans
 » certains pays, au voisinage des habitations.
 » Cependant, l'analogie et les fragments épars
 » autour de ses bords semblent nous auto-
 » riser suffisamment à lui assigner une ori-
 » gine analogue à celle des deux précédents.
 » De véritables volcans existent certaine-
 » ment dans le voisinage de ces lacs, mais
 » nous ne les avons point visités; nous nous
 » sommes contentés des indices de leur proxi-
 » mité, que nous ont donnés les nombreuses
 » conches de rapilli qui couvrent le sommet
 » des montagnes, surtout aux environs du
 » second lac dont j'ai parlé (Wein-Felder-
 » Maar).

» A Gellenfeld, à quelque distance de
 » Daun, on trouve un volcan bien caractérisé,
 » au pied duquel on aperçoit un lac tout sem-
 » blable, fort étendu, et placé au sommet de
 » la montagne sur la pente de laquelle repose
 » le village ¹.

Patrin en cite un grand nombre et donne
 des détails très-curieux sur ceux que l'on voit
 dans les déserts qui sont au nord de la mer
 Caspienne et dans les plaines qui s'étendent
 entre les monts Ourals et l'Irtyche, ainsi que
 dans le grand désert du Baraba, qui occupe,
 entre l'Irtyche et l'Ob, un espace d'environ
 400 lieues du sud au nord, sur une largeur
 moyenne de 150.

» Le sol de ces différentes contrées, dit
 Patrin, est partout de la même nature, c'est-
 à-dire composé de marne plus ou moins mêlée
 d'argile et de sable. Les lacs s'y trouvent en
 grand nombre, et ce ne sont, en général,
 que des espèces de mares où se rassemblent
 les eaux de pluie et celles qui résultent de la
 fonte des neiges: leur plus grande étendue
 n'est guère que de deux ou trois lieues de
 circonférence, et, pour l'ordinaire, de beau-
 coup moins; leur profondeur est très-petite,
 souvent elle n'est que de quelques pieds et
 rarement de plus d'une toise, le fond est
 presque tout plat que celui d'une cavette, et
 pour l'ordinaire il est à sec à la fin de l'été.

¹ JEAN BEYNAUD, sur les formations volcaniques
 des bords du Rhin. *Ann. des Mines*, 3^e série, t. II,
 p. 385.

Il faut encore rapporter à cette classe de lacs qui renferme ceux qui ont le plus de rapport avec les mares, de nombreuses dépressions, ou des entonnoirs à formes plus ou moins régulières, sans trace d'eau pendant l'été, et le plus souvent à surface limoneuse rougeâtre, que l'on rencontre en Morée, sur plusieurs plateaux calcaires; ce sont les *lacos* des Grecs, cavités que M. Boué considère comme analogues à ces trous cratériformes des terrains secondaires gypsifères de l'Allemagne septentrionale, qu'il regarde comme le résultat d'affaissements locaux.

Un de ces trous, nommé le *lac d'Ino*, et situé près d'Epidaure Limkra, était autrefois le siège d'un oracle. C'est une cavité circulaire de 4 à 5 mètres de diamètre au milieu de calcaires compactes, fendillés et redressés comme dans tout le Péloponèse; sa distance à la mer n'est pas de plus de 100 à 150 mètres; il s'élève à peine à deux mètres au-dessus de son niveau, et quoique sa profondeur soit inconnue (30 mètres de sonde n'ont pu en atteindre le fond), il est rempli jusqu'aux bords, en toute saison, d'une eau à peine saumâtre. M. Boblaye pense que ces diverses circonstances ne permettent de regarder ce lac que comme l'une des branches d'un siphon, dont l'autre aboutirait au-dessous du niveau de la mer, à une profondeur que la différence de densité de l'eau douce et de l'eau marine, et l'élévation de 2 mètres du niveau du lac, fixeraient à 77 mètres¹.

DE LA FORME ET DE L'ÉTENDUE DES LACS.

Rien de plus varié que la forme des lacs ainsi que leur dimension. Ils offrent cependant deux formes dominantes, qui dépendent de leur situation. Si ce sont des lacs qui occupent les dépressions du sol, et qui reçoivent des rivières qui viennent s'évaporer dans leur bassin, ils sont généralement arrondis, ou du moins c'est la forme qu'ils présentent vers de loin; car, en approchant, les bords peuvent paraître découpés plus ou moins profondément, ou du moins onduleux. Ils sont aussi presque toujours ronds quand ils sont

placés dans de vieux cratères, ou quand ils submergent de petites dépressions provenant du retrait ou de l'effondrement de roches sur divers plateaux.

Lorsqu'au contraire les lacs occupent des vallées élevées et qu'ils sont traversés par des rivières, leur forme est celle d'un ovale allongé, quelquefois étranglé de distance en distance. Il en résulte que la plupart des grands lacs sont allongés dans le sens du cours d'eau auquel ils doivent leur origine.

Nous avons cité tout à l'heure des lacs de 4 à 5 mètres de diamètre; mais il en est qui sont immenses, surtout en plaçant parmi eux la *mer Caspienne*, et tous les amas d'eau salée qui ne communiquent en rien avec la mer.

Parmi les lacs d'eau douce, il y en a aussi de très-grands; le plus étendu est le *lac Supérieur* situé dans l'Amérique septentrionale. Sa plus grande largeur, du nord au sud, est de 35 lieues, et sa plus grande longueur, de l'est à l'ouest, est de 170 lieues; sa circonférence, en suivant tous les contours, serait de 400 lieues, selon Mac-Kenzie, et de 500, selon Faden.

Ce lac reçoit un grand nombre de rivières différentes; il traverse ensuite le détroit de Sainte-Marie, et se décharge dans le lac Huron. On suppose que l'évaporation enlève la majeure partie des eaux qu'il reçoit, et qu'il n'en sort qu'environ le dixième.

La profondeur des lacs n'est nullement en rapport avec leurs dimensions; ainsi le lac Érié, dans le Canada, qui a 86 lieues de longueur et une largeur proportionnée, n'a qu'une petite profondeur, et il en est de même de tous ces grands lacs de l'Amérique du nord, qui ne sont réellement que de vastes plaines submergées. Les lacs les plus profonds sont ceux qui sont situés dans des cratères volcaniques ou dans des cratères d'effondrement, comme le lac Pavin et le gouffre de Tazana en Auvergne, et les *cratères-lacs* de l'Eifel. Ceux qui occupent les parties basses des hautes vallées des montagnes sont aussi très-profonds. Le petit lac d'Oo a, selon M. Boubée, 250 pieds de profondeur; Saussure a trouvé 950 pieds à l'endroit le plus profond du lac de Genève, 600 pieds dans le lac de Lucerne, 500 dans celui de Brienz, 370 pour le lac de Constance, 350 dans celui de Thoun, 333

¹ BOBLAYE, des dépôts terrestres à la surface de la Morée. *Ann. des mines*, 3^e série, t. IV, p. 115.

dans le lac Majeur, 240 dans celui du Bourget, et 163 pieds pour celui d'Annecy.

Leur plus grande profondeur est en général vers le milieu de leur longueur, et quand cette profondeur se trouve dans le voisinage du bord, on remarque que le rivage y est presque toujours coupé à pic.

DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU DES LACS.

Il était curieux de connaître la température de l'eau de ces vastes bassins à des profondeurs variées; car on sait que l'eau atteint son maximum de densité entre 3° 89 et 4° 44. Cette latitude de $\frac{1}{2}$ degré n'existerait pas pour de l'eau distillée; mais comme celle des lacs est loin d'être pure, on est forcé d'admettre que la température à laquelle l'eau atteint sa plus grande pesanteur relative, varie en raison des sels et des corps gazeux qu'elle contient. A la surface, la température

change souvent, parce qu'elle dépend de l'air atmosphérique, et par conséquent elle est subordonnée aux saisons, tandis que dans le fond des lacs cette cause de variation n'existe plus, et l'on suppose avec raison que l'eau la plus pesante doit gagner les parties basses, et que par conséquent une fois arrivée à une certaine profondeur, à laquelle les variations atmosphériques ne peuvent plus se faire sentir, elle doit offrir une température dont les limites sont comprises entre 3° 89 et 4° 44. C'est probablement ce qui aurait lieu réellement s'il n'existait aucun courant dans les grands lacs, ou si les affluents s'étendaient régulièrement à la surface au lieu de descendre dans l'intérieur, et de se mêler à la masse générale.

Voici du reste le tableau des expériences faites par de Saussure dans la plupart des lacs de la Suisse.

Tableau des expériences faites par de Saussure pour reconnaître la température des lacs à diverses profondeurs.

LIEUX.	DATES.	PROFONDEUR.	TEMPÉRATURE, degrés RÉAUMUS.	TEMPÉRATURE à la SURFACE.	TEMPÉRATURE de l'AIR.
Lac de Genève.	6 août.	312 p.	8° $\frac{1}{2}$	13	20°
¹ Id.	11 février.	930	4° $\frac{3}{10}$	4° $\frac{1}{2}$	1° $\frac{3}{4}$
Lac d'Annecy ² .	14 mai.	163	4° $\frac{1}{2}$	11° $\frac{1}{2}$	10
Lac du Bourget ³ .	6 octobr.	240	4° $\frac{1}{2}$	14° $\frac{1}{2}$	10° $\frac{3}{10}$
Lac de Thoun ⁴ .	7 juillet.	350	4	13	16
Lac de Brienz ⁵ .	8 juillet.	500	3° $\frac{7}{10}$	16	13
Lac de Lucerne ⁶ .	28 juillet.	600	3° $\frac{9}{10}$	16° $\frac{3}{10}$	18° $\frac{6}{10}$
Lac de Constance.	25 juillet.	370	3° $\frac{4}{10}$	14	16
Lac Majeur.	19 juillet.	335	3° $\frac{4}{10}$	20	18

Depuis l'époque où de Saussure a fait ces curieuses expériences sur les températures des lacs, elles ont été renouvelées par M. de Labèche, qui a descendu un grand nombre de

fois un thermomètre à minima à diverses profondeurs. Il a trouvé en général des températures peu différentes de celles qu'avait déterminées Saussure ⁷. Une élévation dans

¹ Le lac de Genève étant élevé de 1,126 pieds au-dessus de la Méditerranée, le fond de son bassin n'est que de 176 pieds au-dessus de son niveau.

² Ce lac est élevé de 210 pieds au-dessus de celui de Genève.

³ Saussure fait observer qu'on ne devrait attribuer la froideur de ce lac à aucune cause étran-

gère; il ne reçoit nul torrent des Alpes, et la communication qu'il a avec le Rhône ne lui apporte les eaux de ce fleuve que pendant les crues d'été.

⁴ Élevé de 650 pieds au-dessus de celui de Genève.

⁵ Il est contigu à celui de Thoun.

⁶ Élevé de 91 pieds au-dessus de celui de Genève.

⁷ De LABÈCHE, *Annales de chimie et de physique*, t. XIX, p. 80.

ces degrés de chaleur a été remarquée par M. Boubée au fond du lac d'Oo dans les Pyrénées ; à 250 pieds de profondeur l'eau marquait 7° et 11 à la surface. M. Boubée a conclu de cette température que l'eau de la cascade qui alimente le lac, et qui, comme celle de tous les torrents qui découlent des glaciers des Pyrénées, a une température moyenne de 6 à 7°, au lieu de se répandre à la surface du lac, se précipite au fond à cause de sa plus grande densité, et établit son courant dans la partie la plus profonde du lac.

La même cause doit nécessairement faire varier la chaleur des grands lacs de la Suisse ; car pour obtenir précisément le degré de température que donne l'eau à son maximum de densité, il faudrait que des courants abondants et très-froids vinssent alimenter les lacs, ou bien que l'eau refroidie à sa surface fût voisine du 0 du thermomètre.

DE LA COMPOSITION DE L'EAU DES LACS.

Considérés sous le rapport de la composition de leurs eaux, les lacs sont rangés sous deux divisions : les lacs d'eau douce et les lacs salés.

L'eau qui remplit le bassin des lacs d'eau douce est ordinairement très-pure, et ce que nous avons dit de la composition de l'eau des fleuves peut parfaitement s'appliquer à celle-ci. Elle est généralement très-limpide, car elle dépose toutes les matières qu'elle tenait en suspension et acquiert une grande transparence.

L'eau des lacs salés offre à peu de chose près la même composition que l'eau de la mer, et nous étudierons ses caractères en nous occupant de cette dernière ; mais plusieurs d'entre eux contiennent d'autres matières que du sel marin : tels sont ceux de la vallée des Lacs en Égypte, dans le désert de Theriet. Ces lacs, au nombre de 6, sont à 21 lieues à l'ouest-nord-ouest du Caire ; leur étendue est peu considérable. Dans les grandes chaleurs, tous sont quelquefois à sec. La vallée qu'ils occupent est séparée du Nil par un plateau calcaire de 10 lieues d'étendue.

Pendant trois mois de l'année, des sources nombreuses amènent leurs eaux dans la vallée des Lacs par sa pente orientale qui est

du côté du Nil, ce qui a fait présumer que ces eaux étaient fournies par le fleuve et sortaient à travers le plateau. Elles s'évaporent ensuite et laissent les lacs presque entièrement à sec, ce qui est facile à concevoir ; car il paraît que leur profondeur n'excède pas un pied et demi, même dans le milieu.

Ces lacs renferment trois espèces de sels, qui quelquefois s'y trouvent séparés. La partie orientale fournit du natron ou sous-carbonate de soude ; le centre du sulfate de soude, et la partie occidentale du sel marin.

Quand les mêmes eaux contiennent ces trois sels, le sel marin cristallise le premier, et ensuite le natron, ou quelquefois d'abord le sulfate de soude, ce qui tient à leur degré de solubilité plus ou moins grand.

Il existe aussi en Sibérie et dans l'Inde, ainsi que sur plusieurs points de la Hongrie et de l'Amérique, des lacs qui renferment du natron qui se montre souvent sur leurs bords ou sur leur fond desséché, sous la forme d'une efflorescence extrêmement blanche.

Peut-être faut-il rapporter la production de ces sels à des sources minérales qui alimentent les lacs natrifères. Ce phénomène aurait alors des rapports marqués avec les lagonis de Toscane, dont la description trouvera sa place à la suite des eaux thermales.

Un fait très-singulier est le mélange de plusieurs petits lacs d'eau douce avec de tels lacs salés. C'est cependant ce qu'on observe au nord de la mer Caspienne et dans le grand désert de Baraba, entre l'Irtyche et l'Ob, en Sibérie.

« Ces lacs présentent un phénomène assez singulier. On en voit dans la même plaine, et à quelques centaines de pas de distance, dont les uns contiennent de l'eau douce ; d'autres ont leurs eaux chargées de sel marin ; d'autres sont saturés d'un sel amer, tout semblable au sel d'Epsom ; d'autres enfin contiennent à la fois ces deux espèces de sels, tantôt mêlées dans la totalité de leurs eaux, tantôt séparément, le sel marin dans une partie du lac, et le sel d'Epsom dans l'autre partie ; tantôt ces deux sels se forment en même temps, et tantôt le sel d'Epsom ne se manifeste que vers la fin de l'été. »

On a supposé avec vraisemblance que des sources salines devaient alimenter ces diffé-

rents lacs, d'autant plus que le sol qui les environne se convre continuellement d'efflorescences de même nature; mais Patrin objecte que si ces sources venaient chaque année remplir les lacs d'eau salée, celle-ci en s'évaporant laisserait le sel dont elle est chargée, et elles auraient bientôt rempli de sel tout le bassin du lac, et c'est, dit Patrin, ce qui n'arrive nullement; soit qu'on enlève la croûte de sel qui se forme au fond de ces lacs pendant l'été, soit qu'on la laisse, il n'y en a ni plus ni moins l'année suivante¹.

DES SEICHES OU MARÉES ACCIDENTELLES DES GRANDS LACS.

On nomme ainsi à Genève certains débordements du lac, qui ont lieu, surtout à son extrémité occidentale, d'une manière très-subite, et qui ne durent qu'un court espace de temps. C'est un phénomène commun à tous les lacs: ainsi il existe dans ceux de Zurich, d'Annecy, de Lucerne, de Constance, de Neuchâtel, du Tessin, de Côme, etc.; s'il est plus remarquable sur le lac de Genève, c'est que la cause qui le produit et qui existe partout, n'exerce toute son influence que sur la surface de ce dernier. Ailleurs, la cause étant faible, son effet a souvent échappé à l'observation. M. Boué dit avoir remarqué des seiches sur une plus petite échelle, dans plusieurs lacs des Alpes de l'Autriche, et toujours sous des circonstances à peu près telles que celles qui ont été observées sur le lac de Genève. Enfin, on les a reconnues aussi sur les grands lacs de l'Amérique septentrionale, et notamment sur le lac Supérieur, où elles sont très-irrégulières et ne s'élèvent pas à plus d'un pied.

Les seiches ont lieu dans toutes les saisons et à toutes les heures du jour; mais elles sont en général plus fréquentes au printemps et en automne. La grandeur de ces inondations paraît même en rapport avec l'état plus ou moins pluvieux de l'atmosphère, la seiche étant plus considérable lorsque le temps est à l'orage et le baromètre bas, que par un temps serein.

Dans le lac Léman, les seiches sont d'autant plus grandes qu'on s'approche de la sortie du Rhône, tandis que l'extrémité orientale du même lac n'a pas de seiches plus sensibles que celles des autres lacs.

Si le minimum des seiches n'a pas de terme, leur maximum ne dépasse pas 5 pieds, et leur durée, quoique très-variable, n'excède guère 20 à 25 minutes.

Enfin, les plus grandes seiches ont lieu en juillet et août ou au commencement de septembre.

On a cru d'abord que ce phénomène était occasionné par des coups de vent qui, repoussant les eaux du petit lac au delà de la barre sablonneuse qui le sépare du grand, occasionnaient, par leur retour, ces oscillations.

Pendant Jallabert observa que les seiches avaient lieu sans qu'il y eût aucun coup de vent, et il les attribua à la fonte subite des neiges qui grossissait l'Arve tout à coup, de manière à retarder brusquement le cours du Rhône à sa sortie du lac.

Mais de Saussure a vu arriver ces crues subites de l'Arve sans qu'il y eût la moindre apparence de seiches.

Bertrand a cherché à les expliquer en supposant que des nuées électriques attirent et soulèvent les eaux du lac, et que ces eaux, en retombant, produisent ces ondulations.

Patrin attribuait ces soulèvements de la surface de l'eau à des émanations souterraines, et depuis on a remarqué, en effet, sur le lac de Genève, des bouillonnements considérables dus aux dégagements de matières gazeuses; ces soulèvements semblaient coïncider avec l'époque des tremblements de terre qu'on ressent assez souvent dans les Alpes.

Il n'y a en effet rien d'étonnant que des gaz accumulés dans l'intérieur de la terre, s'échappent du fond d'un lac où ils trouvent moins de résistance qu'ailleurs. Un bruit sourd, analogue à celui que produisent les tremblements de terre, accompagne ordinairement ces sortes d'éruption.

M. Vaucher, qui a publié un Mémoire très-important sur les seiches des lacs de la Suisse, donne une explication qui paraît s'accorder beaucoup mieux avec les faits. Il attribue ces oscillations accidentelles à la pression inégale

¹ PATRIN, Dictionnaire d'histoire naturelle de Deterville.

que différentes colonnes atmosphériques font éprouver à l'eau. Or, ces variations barométriques sont un fait reconnu, surtout dans les pays de montagne; si une colonne d'air devient plus pesante que celles qui l'avoisinent, à l'instant cette pression relèvera le niveau des eaux voisines; et si ces dernières sont enclavées dans un étroit bassin, il s'ensuivra un débordement. Mais dans le cas du lac de Genève, les eaux, au lieu d'être de niveau, forment la pente rapide d'un fleuve: donc, si elles sont pressées, elles seront obligées d'obéir à deux forces, celle de la pente et de la colonne d'air, et elles suivront la diagonale entre ces deux forces selon une direction facile à déterminer. Elles seront plus ou moins relevées dans une grande étendue du contour; or, cela ne peut avoir lieu sans diminuer ce dernier, retarder le cours des eaux et les accumuler. Avec cette explication, on se rend compte aisément de toutes les apparences et de toutes les modifications locales des seiches.

Ce phénomène a amené naturellement M. Vaucher à parler de l'apparence curieuse que présente, sous certains états de l'atmosphère, la surface de tous les lacs, et même des baies marines très-enclavées, comme en Écosse. La surface du liquide, au lieu d'être

calme ou agitée, présente, sous mille formes diverses, des parties parfaitement calmes et miroitantes à côté des portions agitées. Ces *fontaines*, ou ce *mirage*, comme l'appellent les bateliers, trop souvent attribués à des courants, doivent être une suite de l'immobilité de la colonne atmosphérique qu'ils supportent, tandis que les colonnes d'air voisines sont agitées verticalement ou horizontalement. Si telle parait être l'explication, M. Vaucher ne donne pas le mot de l'énigme pour la production de cet état singulier de l'air. Néanmoins, comme les seiches annoncent la pluie et ont lieu souvent par un ciel en apparence serein, il s'ensuit qu'il se passe dans l'air des dissolutions et des précipitations irrégulières, et par conséquent ces variations remarquables de l'atmosphère dépendront principalement de ces phénomènes peu connus.

M. Vaucher termine son intéressant Mémoire en demandant si un phénomène analogue aux seiches n'a pas dû se produire sur une grande échelle lors de la formation de la croûte terrestre, lorsque l'atmosphère devait être chargée de plus de gaz différents en quantité et en densité. Il va même jusqu'à supposer que des couches contournées ou brisées auraient pu être ainsi produites¹.

CHAPITRE SEPTIÈME.

DES MARAIS.

Les marais sont des terrains plus ou moins étendus, toujours imbibés et souvent recouverts d'eau. Des causes variées les produisent et les entretiennent; telles sont les eaux pluviales tombées en abondance sur un sol argileux, bas, peu incliné; l'affluence, sur un sol ainsi disposé, des eaux qui viennent de l'intérieur des terres et des montagnes voisines, et, dans d'autres circonstances, l'irruption des eaux de la mer ou d'un fleuve débordé. Aucun des conditions de la stagnation

des eaux n'a plus d'influence que la disposition du bassin dont elles couvrent la surface; elle est telle, que la masse liquide qu'une cause accidentelle y a conduite ou formée, trop considérable pour s'infiltrer dans le sol ou être évaporée avant d'avoir été renouvelée, ne peut que très-difficilement se former en

¹ *Mém. de la Soc. de physique et d'hist. nat. de Genève*, vol. VI, part. 1^{re}, p. 35; et *Résumé des sciences géologiques*, par M. Boué. 1855, p. 95.

courants, en torrents, en ruisseaux, et se perdre dans les eaux d'un fleuve ou de la mer. Diverses circonstances concourent à maintenir les eaux sur la plaine qu'elles ont envahie, et c'est à peine si quelques petits ruisseaux d'eau limpide s'en échappent à la faveur d'un lit profondément creusé dans un sol tourbeux. Des plantes, en quantité considérable, naissent et croissent avec une grande énergie autour du sol inondé et en divers points de sa surface; elles y meurent après la saison des pluies, et leurs débris, mais surtout leur nombreuses feuilles, exhausant de plus en plus le terrain submergé, le constituent enfin définitivement à l'état de marais.

Cet effet aura lieu nécessairement si un bassin, situé au-dessous du niveau d'un fleuve ou de la mer, est inondé par l'un ou par l'autre, et n'a pas assez de pente pour contraindre les eaux à le quitter. Un marais se formera lorsqu'un terrain bas recevra les eaux des torrents nés accidentellement sur des montagnes voisines, et n'aura pas assez de déclivité pour se délivrer de la masse liquide dont la pluie l'aura couvert. Comme l'évaporation des eaux et leur infiltration ne sont nullement en proportion avec leur affluence considérable et souvent répétée, comme les obstacles à l'écoulement de l'eau augmentent et se multiplient de plus en plus, si l'art ne corrige ce vicieux état de choses, le sol inondé devient de plus en plus marécageux. La résistance que les flots de la mer opposent sans cesse aux eaux qui affluent dans son sein, force, après un choc réitéré, les parties les plus pesantes à se précipiter, à former des atterrissements considérables, tandis que celles qui surnagent sont rejetées de toute part sur les bords des étangs du littoral. Cette lutte continuelle de la mer et des fleuves répand dans les terres les débris d'une quantité immense de substances animales. Ainsi est expliquée l'insalubrité des lieux voisins de l'embouchure des rivières. Les inondations sont fréquentes partout où les rivières ne peuvent verser leurs eaux dans la mer qu'avec difficulté; le Tibre, toujours plein de vase et ne pouvant qu'à peine décharger ses eaux dans la Méditerranée, en couvre souvent les terres voisines. C'est aux flaques d'eau formées par les rivières dont la trop grande élévation

de la mer rend le dégorgeement difficile, que la belle plaine voisine de l'embouchure de la Cécina doit sa stérilité et ses malheurs. Le mouvement que l'Océan imprime aux fleuves qui lui conduisent leurs eaux, se fait sentir à de grandes distances, comme on a pu s'en convaincre par les exemples que nous avons cités en parlant de leur embouchure; et sur les rivages, beaucoup d'étangs et de marais sont formés par les obstacles que la mer oppose aux cours de leurs eaux. Une mortalité effrayante a souvent détruit les populations qui existaient auprès de ces lieux insalubres.

Plusieurs marais donnent naissance à des rivières et même à des fleuves considérables: ainsi le Borysthène, le Niemen et la Dwina ont tous trois leur source dans la même plaine marécageuse; d'autres amas d'eaux continentales stagnantes reçoivent des rivières qui s'y perdent. En Espagne, la Guadiana disparaît dans la plaine d'Alcala, et renaît à cinq lieues plus loin, en formant de grands marais; le Zenderoud, en Perse, termine son cours dans un vaste marécage. Ainsi finissent, en Afrique, grand nombre de rivières qui descendent du versant méridional de l'Atlas, vers le grand désert de Sahara, et d'autres rivières nées dans les montagnes d'Abyssinie.

Les marais occupent encore une grande partie du globe et couvrent quelquefois des terrains considérables. On en trouve un grand nombre dans les régions riveraines du nord de l'Europe où ils s'étendent jusqu'en Finlande. Presque tout l'espace situé entre la Prusse ducal et la mer Blanche ne forme qu'un vaste marais parsemé de petits lacs et de cours d'eau, et qui, selon M. Bory de Saint-Vincent, unissait autrefois la mer Blanche et la Baltique.

De vastes marais recouvrent sur certains points l'empire de Russie, et s'étendent jusque dans la Sibérie.

L'Asie ne paraît pas contenir autant de marais que l'Europe; on en trouve cependant de fort grands aux environs de l'Euphrate, des Palus-Méotides, et en Tartarie; des eaux stagnantes couvrant plusieurs de ses plaines, rendent quelques-unes de ses montagnes inabordable, et occupent la surface d'une partie de ses forêts.

Beaucoup de parties de l'Afrique sont inon-

dées par des masses prodigieuses d'eaux pluviales, et couvertes de marécages que la température de ce climat rend doublement dangereux. Ils sont communs en certains points des côtes, surtout depuis la rivière du Sénégal jusqu'au pays des Cafres. Les voyageurs nous ont souvent entreteus des eaux stagnantes du Delta, d'Alexandrie, de Damiette, des côtes de la Barbarie. La basse Égypte est un marais pendant plusieurs mois de l'année. Ce pays, si riche par ses souvenirs et par sa fertilité, est, aux yeux de quelques géologues, un présent du Nil, une contrée formée par la quantité prodigieuse de limon que le fleuve charie et dépose sur ses bords continuellement exhausés. Telle est l'opinion d'Hérodote qui donne la même origine à tout le pays marécageux jusqu'à trois jours de navigation en remontant le fleuve¹.

L'Amérique est la contrée du globe qui offre le plus grand nombre de marais ; mais ils présentent presque tous un caractère particulier, c'est d'être alternativement submergés et émergés, selon les saisons et les crues périodiques des grands fleuves. Les débordements s'étendent si loin que l'on voit des tribus sauvages tout entières disputer aux singes et aux oiseaux la cime des arbres où ils habitent en commun.

Buffon a décrit, avec son éloquence ordinaire, les vastes savannes de cette partie du monde.

« Nous avons peint, dit-il, les déserts arides de l'Arabie Pétrée, ces solitudes nues où l'homme n'a jamais respiré sous l'ombrage, où la terre sans verdure n'offre aucune subsistance aux animaux, aux oiseaux, aux insectes ; où tout paraît mort parce que rien ne peut naître, et que l'élément nécessaire au développement des germes de tout être vivant ou végétant, loin d'arroser la terre par des ruisseaux d'eau vive, ou de la pénétrer par des pluies fécondes, ne peut même l'humecter d'une simple rosée. Opposons ce tableau de sécheresse absolue d'une terre trop ancienne, à celui des vastes plaines de fange des savannes noyées du nouveau continent, nous y verrons par excès ce que l'autre n'of-

frait que par défaut : des fleuves d'une largeur immense, tels que l'Amazone, la Plata, l'Orénoque, roulant à grands flots leurs vagues écumanes, et se débordant en toute liberté, semblent menacer la terre d'un envahissement et faire effort pour l'occuper tout entière ; des eaux stagnantes et répandues près et loin de leur cours, couvrent le limon vaseux qu'elles ont déposé ; et ces vastes marécages, exhalant leurs vapeurs en brouillards fétides, communiqueraient à l'air l'infection de la terre, si bientôt elles ne retombaient en pluies précipitées par les orages ou dispersées par les vents ; et ces plages, alternativement sèches et noyées, où la terre et l'eau semblent se disputer des possessions illimitées ; et ces broussailles de mangle jetées sur les confins indécis de ces deux éléments, ne sont peuplées que d'animaux immondes qui pullulent dans ces repaires, cloaque de la nature, où tout retrace les déjections monstrueuses de l'antique limon. Les énormes serpents tracent de larges sillons sur cette terre bourbeuse ; les crocodiles, les crapauds, les lézards et mille autres reptiles à larges pattes en pétrissent la fange ; des millions d'insectes, enflés par la chaleur bumide, en soulèvent la vase ; et tout ce peuple impur, rampant sur le limon ou bourdonnant dans l'air qu'il obscurcit encore, toute cette vermine dont fourmille la terre, attire de nombreuses cohortes d'oiseaux ravisseurs, dont les cris confus, multipliés et mêlés au croassement des reptiles, en troublant le silence de ces affreux déserts, semblent ajouter la crainte à l'horreur pour en écarter l'homme et en interdire l'entrée aux autres êtres sensibles..... »

Les marais sont presque toujours remplis d'une grande quantité de végétaux, dont les racines s'enlacent de mille manières dans la vase qui forme leur lit. Il arrive quelquefois que des lambeaux plus ou moins grands, formés par cet ensemble de racines et de limon, se détachent du sol et viennent flotter à la surface ; bientôt après les racines s'allongent, pénètrent de nouveau dans la vase et fixent les flots flottants que des végétaux gonflés d'air, et spécifiquement plus légers que l'eau, viennent d'élever à sa surface. Mais si

¹ La majeure partie de ce que nous venons de dire sur les marais est extraite de l'intéressant ouvrage de M. Montfalcon.

² *Burton, Oiseaux. Article du Kamicki.*

le phénomène se passe sur le bord d'un lac, le vent transporte bientôt l'île naissante au milieu des flots qui lui prêtent leur appui mobile; chaque jour on la voit voguer et parcourir toute la surface du lac. Les débris formés sur cette île par la décomposition annuelle des végétaux qui y croissent, augmentent tous les ans, et des arbrisseaux s'élèvent au milieu des joncs et des roseaux; longtemps après, de grands arbres étendent leurs rameaux sur ces jardins flottants, qui rappellent ceux des Chinois et des Mexicains. C'est ainsi que se forment des îles flottantes qui finissent par se fixer au fond des eaux, mais qui acquièrent cependant quelquefois une grande étendue, au point même que de grands terrains tourbeux peuvent ainsi se trouver séparés du sol par une couche d'eau plus ou moins épaisse.

On trouve dans les ouvrages de géographie un grand nombre d'exemples de ces sortes d'îlots. Plinè, qui en avait déjà donné la théorie ¹, cite ceux qui flottaient dans les lacs de Bolsena et Bressanello, qui maintenant sont entièrement fixés. Parmi les plus considérables, se trouvent ceux du lac de Gerdau, en Prusse, qui servaient de pâturage à un troupeau de cent têtes, et ceux du lac de Kolk, au pays d'Osnabruck, couverts de très-beaux arbres ². Bergmann cite aussi en Suède, dans la Smoland, le lac Rafang, remarquable par un flot flottant qui paraît et disparaît successivement. Depuis 1696 jusqu'à 1766, il s'est montré dix fois, et ordinairement aux mois de septembre et d'octobre. Il avait 280 pieds de long et 220 de large ³. Mältebrnn en cite un semblable en Ostrogothie ⁴.

CHAPITRE HUITIÈME.

QUELQUES CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LES LACS.

Nous avons déjà vu, en parlant des fleuves, que l'eau semblait diminuer à la surface de la terre; mais, indépendamment de cette cause générale, il en est d'autres qui tendent à combler le bassin des lacs, et dont l'effet se fait sentir plus ou moins promptement, suivant les circonstances locales.

Toutes les rivières qui se jettent dans les lacs y charrient plus ou moins les débris des montagnes d'où elles sortent et des contrées qu'elles arrosent. Ainsi, plus un lac est voisin de ces hautes montagnes d'où se précipitent des torrents qui roulent avec eux des débris de rochers, et plus tôt son bassin sera comblé; tandis qu'un autre lac situé plus loin dans la plaine, et ne recevant que du sable et du limon, dont une partie ressort par son dégorgeoir, n'éprouvera qu'une diminution beaucoup plus lente.

On a cru pouvoir déterminer l'ancienneté relative des lacs d'après l'étendue des atter-

rissements qui ont été formés dans leurs bassins par les rivières qui s'y jettent, mais il paraît très-difficile d'avoir là-dessus des données satisfaisantes.

Il faudrait surtout avoir égard aux circonstances locales pour chaque lac en particulier.

On voit, par exemple, que le lac de Neuchâtel, situé au pied du Jura, a déjà éprouvé une diminution très-considérable par les atterrissements de l'Orbe, tandis que ceux du Rhône sont à peine sensibles dans le lac de Genève, quoique celui-ci soit probablement plus ancien.

Le lac d'Annecy, qui se trouve enclavé dans les montagnes, est déjà en grande partie comblé de leurs débris.

¹ Histoire naturelle, t. XI, c. 95.

² KANT, Géographie physique, t. XI, p. 1 et 114.

³ BERGMANN, Géographie physique, t. XI, p. 258.

⁴ Géographie universelle, t. II, p. 134.

Le Lac d'Oo, dans les Pyrénées, est bien moins profond dans le lieu où tombe la cascade de Seculejo, parce que, comme l'a observé M. Boulée, cette cascade a accumulé des fragments de rochers qui l'ont en partie comblé de ce côté.

La vallée de Chamouny paraît avoir été un lac, comme l'a reconnu Saussure. Mais, placé au milieu de montagnes élevées, dont les débris s'y rendaient journellement en suivant le cours de l'Arveyron et d'autres torrents, il fut bientôt comblé.

Le lac du Bourget, au contraire, qui se trouve à l'extrémité d'un vaste bassin qu'il remplissait sans doute autrefois, ne reçoit plus que des eaux paisibles et peu chargées de matières étrangères, qui pourront le traverser longtemps sans élever sensiblement son sol.

Des traces de l'abaissement des eaux dans les lacs se remarquent partout, surtout dans ceux qui occupent le milieu de vastes bassins, dans le centre des continents. Ainsi, le plus grand lac de l'Amérique du sud, celui de Titicaca, paraît avoir été autrefois une petite Caspienne, qui emplissait un bassin de 140 lieues de long sur 50 de large. Le lac n'en occupe plus que le fond; mais il a encore 70 lieues de longueur sur 20 environ dans sa plus grande largeur. Ses eaux sont extrêmement amères et légèrement saumâtres; il en sort, vers le sud, une très-petite rivière qui est son seul écoulement, et qui va se jeter dans le petit lac salé *Desaguadero*, qui ne donne issue à aucun cours d'eau.

Le lac Tacarigua présente absolument les mêmes caractères, et l'on a remarqué depuis longtemps que l'équilibre est rompu entre la quantité d'eau qui s'évapore à sa surface et celle qui viennent y verser quelques affluents des vallées d'Aragua.

« Depuis un demi-siècle, et surtout depuis trente ans, le dessèchement naturel de ce grand bassin a frappé tous les esprits. On trouve à sec, et déjà cultivés en bananiers, en cannes à sucre et en coton, de vastes terrains autrefois inondés. Partout où l'on construit une cabane au bord du lac, on voit fuir, pour ainsi dire, le rivage, d'année en année; un découvre des îles qui, par la retraite des eaux, commencent à peine à se lier au con-

tinent (comme l'île rocheuse de la Culebra du côté de Guigue); d'autres îles forment déjà des promontoires (comme le Morro, entre Guigue et Nueva-Valencia, et la Cabrera, au sud-est de Mariara); d'autres encore s'élèvent, dans l'intérieur des terres, semblables à des monticules épars. Parmi ces dernières, si faciles à reconnaître de loin, les unes sont placées à un quart de mille, les autres à une lieue de distance du rivage actuel.

« L'apparition de nouvelles îles et la retraite progressive des eaux, ont fait voir que le lac pourrait bien se dessécher entièrement ¹. »

M. de Humboldt pense que les lacs dont le Mexique abonde, et dont la plupart paraissent diminuer d'année en année, ne sont que les restes de ces immenses bassins d'eau qui paraissent avoir existé jadis dans les hautes plaines de la Cordillère. Il cite parmi les principaux, le grand lac de Chapala, dans la nouvelle Galice, qui a près de 160 lieues carrées, et qui est du double plus grand que le lac de Constance, les lacs de la vallée de Mexico, qui n'occupent aujourd'hui qu'un dixième de la surface de cette vallée, le lac de Patzcuaro, dans l'intendance de Valladolid, un des sites les plus pittoresques qu'il ait rencontrés dans les deux continents, le lac de Mexitlan et celui de Parás, dans la nouvelle Biscaye ².

Mais de tous les phénomènes de ce genre, le plus curieux et le plus grand est sans contredit la diminution bien constatée des eaux du grand lac salé que l'on désigne sous le nom de mer Caspienne, et qui occupe en Asie, au pied du Caucase, une large dépression du sol, dépression qui place le niveau de la mer Caspienne au-dessous du niveau actuel de l'Océan.

Les belles observations de Pallas sur cette singulière contrée, la présence de fossiles d'origine moderne sur les bords de la mer Caspienne, la disposition étagée de ses rivages, les grandes plaines sableuses, couvertes de mares d'eau salée qui la séparent de la mer Noire, et jusqu'à l'analogie des animaux

¹ HUMBOLDT, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. V, p. 169.

² Idem, *Essais politiques sur la nouvelle Espagne*, t. I, p. 279.

marins qui habitent les deux bassins, tout prouve que la Caspienne était autrefois réunie à la mer Noire, qui aujourd'hui est élevée de 283 pieds au-dessus de son niveau.

Ce que les études géologiques indiquent de la manière la plus claire, l'histoire vient, en quelque sorte, le confirmer, puisque l'abaissement des eaux, qui a dû être d'environ 400 pieds, semble s'être opéré en partie depuis les temps historiques. En effet, il existe à 60 lieues environ de cette mer, le lac Aral, dont l'étendue est bien moins considérable, mais dont les eaux salées, comme celles de la Caspienne, contiennent aussi une certaine quantité de sulfate de soude. L'espace qui sépare ces deux lacs est une plaine ou plutôt un désert où l'on trouve un grand nombre de petites mares salées.

Le Wolga, qui est comme on le sait le plus grand fleuve de l'Europe, vient conduire ses eaux dans la Caspienne, qui est encore alimentée par plusieurs autres petits fleuves. De son côté, le lac Aral reçoit aussi quelques affluents, mais aucuns du côté de l'occident, qui est dirigé vers la Caspienne; celle-ci reste sans affluents du côté de l'Aral. Ces caractères avaient déjà fait présumer à Buffon que ces deux grands lacs avaient été réunis.

Hérodote, qui regardait le grand lac qui nous occupe comme une mer particulière, ne fait nullement mention du lac Aral, et indique même un des fleuves qui se rend actuellement dans ce dernier comme tributaire de la Caspienne. Dans la carte de Ptolomée, qui vivait l'an 138 de notre ère, les deux bassins sont réunis. Ils ne le sont plus dans celle d'Abulfeda, qui parut en 1162; mais l'espace qui les sépare était moins étendu qu'il n'est actuellement. Peut-être ne doit-on pas avoir beaucoup de confiance à des cartes dessinées à ces deux époques, ni aux descriptions géographiques d'Hérodote; cependant, toutes ces considérations et un grand nombre d'autres que nous ne pouvons énumérer dans un ouvrage de cette nature, prouvent que les eaux qui étaient contenues dans la grande cavité centrale de l'Asie ont constamment diminué d'étendue, et que, probablement, leur niveau baisse encore, car le Wolga et les autres fleuves qui viennent s'y jeter ne compensent pas l'évaporation produite à sa surface. C'était

donc autrefois une mer et non un lac, puisqu'elle communiquait à la mer Noire, aujourd'hui plus haute que la Caspienne de 283 pieds, et séparée d'elle par l'arête des deux bassins dont la hauteur peut encore être évaluée à 120 pieds. Voilà donc une diminution de 400 pieds, qui continue encore de nos jours, mais qui, à cause de l'étendue du bassin, est moins sensible pour nous que celle des lacs salés de l'Amérique méridionale.

Il faut remarquer que les grands lacs salés occupent toujours le centre de bassins plus ou moins étendus, qui reçoivent les eaux des pays environnants.

Après la mer Caspienne on peut citer la mer Morte, ou grand lac Asphaltique dont les eaux augmentent en salure à mesure qu'elles s'évaporent. Le Jourdain et les autres petits fleuves qui s'y rendent ne peuvent pas compenser la masse d'eau que l'évaporation enlève chaque jour sous un climat si ardent. Le niveau du lac doit baisser, tandis qu'à une époque reculée et avant les commotions volcaniques qui ont bouleversé toute la contrée, la mer Morte communiquait peut-être à la mer Rouge, ou du moins le Jourdain, après avoir traversé ce bassin, pouvait lui-même y conduire ses eaux.

La division du sol en bassins fermés avec lacs permanents, comme ceux que nous venons de citer, et comme tous les petits bassins fermés avec *Chasma*, de la Grèce, du Jura, de la Dalmatie, permet d'apprécier avec assez de facilité la diminution des amas d'eau à la surface des continents. Cette diminution, causée par l'évaporation, est d'autant plus grande que l'eau se répand sur une plus grande surface, comme dans la mer Caspienne, ou que son volume est moins considérable, comme en Grèce. Là, de profondes crevasses existent au fond des lacs, et l'eau, pénétrant dans l'intérieur du sol, est soustraite à l'action de la chaleur solaire, et va plus loin s'échapper sous forme de sources abondantes et limpides.

Si, actuellement, nous abandonnons l'étude de ces bassins fermés ou de ces grandes dépressions du sol, pour étudier l'eau dans les grandes vallées dont les fleuves marquent à la fois la pente et la direction, nous allons voir que le lit des fleuves se compose souvent

d'une série de bassins situés les uns au-dessus des autres, et qui, avant la diminution des eaux et l'érosion de leurs digues, devaient former autant de grands lacs communiquant ensemble.

On remarque facilement cette disposition dans la grande vallée du Danube, successivement élargie et étranglée, au point que plusieurs de ses bassins se transforment encore en lacs lors des débordements du fleuve.

Un fait semblable arrive à la *Samara*, un des affluents les plus considérables du Volga, et qui a sa source dans les monts Ourals. Son lit, très-sinueux, est creusé dans une large vallée qui, pendant la fonte des neiges, devient un lac et par suite un marais.

La saison des pluies, sous les tropiques, produit quelquefois des débordements considérables dans les rivières de ces contrées. Elles forment alors de grands lacs périodiques qui se remplissent et se vident à des époques déterminées. Telle est la formation du lac de Xarayes, au Brésil, qui occupe toutes les rives du Guyaba et du Paraguay. Ce lac a alors plus de 100 lieues de long sur 40 de large.

Le fleuve Saint-Laurent, dans le Canada, offre encore lui-même plusieurs grands lacs qui se versent les uns dans les autres, et qui un jour seront de vastes plaines au centre desquelles il promènera majestueusement ses eaux. Il est probable que les bassins de Saint-Pierre et de St-François, qui sont les plus rapprochés de Québec seront les premiers émergés. Il est facile de voir que plusieurs des plaines qu'il arrose au-dessus de cette ville étaient autrefois des lacs, et la rapidité avec laquelle il mine le terrain entre le lac Erié et le lac Ontario, aux fameuses chutes du Niagara, indique bien que ses eaux abandonneront un jour les immenses réservoirs qui les contiennent aujourd'hui.

Les rochers situés sur les rives du lac Supérieur présentent, à 6 pieds au-dessus du niveau actuel des eaux, des traces évidentes d'érosion, tandis que le phénomène des seiches, qui s'y fait sentir, n'en élève jamais les vagues au delà de 12 pouces : que l'on juge de l'énormité d'une couche d'eau de 6 pieds sur une telle étendue.

Le dégorgeoir des lacs étant continuell-

ment soumis à la pression d'une partie de la masse de liquide qu'ils renferment, il s'ensuit que leur digue doit s'user, et que leur niveau doit nécessairement baisser; c'est effectivement ce que nous venons de voir tout à l'heure, et ce que Saussure a remarqué et décrit avec son admirable talent.

» Sur le mont Cenis se trouve un lac qui est de plus d'un quart de lieue de longueur, et d'une profondeur considérable, mais qui s'élevait autrefois beaucoup plus haut qu'aujourd'hui, ainsi qu'on peut en juger par les traces horizontales qu'il a laissées sur les rochers environnants, et l'une des principales causes de sa diminution est l'approfondissement de son dégorgeoir. La Cenis qui en sort a laissé sur les parois de son canal des traces incontestables, à plus de 50 pieds de sa surface actuelle. » (§ 1244.)

Ce savant observateur a fait des remarques encore plus importantes sur l'ancien dégorgeoir du lac de Genève, qui fut autrefois l'endroit où l'on a construit le fort de l'*Écluse*. Ce lac avait nécessairement alors une élévation et une étendue beaucoup plus considérables qu'aujourd'hui, ainsi que Saussure le démontre parfaitement.

» Diverses considérations, dit-il, et surtout celle de l'issue par laquelle le Rhône sort du bassin de nos montagnes, concourent à prouver cette vérité.

» Cette issue est une échancrure profonde et étroite, creusée par la nature, entre la montagne de Vouache et l'extrémité du mont Jura. Ce passage se nomme l'*Écluse*, dénomination qui représente très-bien une issue ouverte aux eaux entre de hautes montagnes.

» Cette issue est la seule par laquelle le Rhône puisse sortir du sein de nos montagnes; si elle se fermait, nos plus bantes collines seraient submergées..... *Il paraît cependant probable que ce passage était originellement fermé.....*

» La montagne de Vouache paraît être une continuation de la première ligne du Jura. Le Vouache et le Jura étaient anciennement unis, et ne laissaient par conséquent aucun passage aux eaux renfermées dans notre bassin; mais comment cette ouverture s'est-elle formée?..... Il suffit que le haut de la montagne ait été un peu plus abaissé dans un

endroit, qu'elle ait formé là une espèce de gorge, les eaux auront pris cette route, et auront peu à peu rongé et excaré leur lit jusqu'au point où nous le voyons.

« J'ai cherché les traces de ces érosions; j'ai côtoyé le lit du Rhône;... j'ai vu avec plaisir les larges et profonds sillons qu'il a tracés sur ces rochers calcaires..... La plus remarquable de ces traces est un sillon creusé dans le roc à peu près horizontalement; il est situé à plus de 20 pieds au-dessus du point où s'élève aujourd'hui le Rhône dans le temps de ses plus hautes eaux. » (§ 213.)

Mais ceci n'est rien en comparaison de l'élévation où l'on retrouve fréquemment les mêmes traces sur les montagnes des environs de Genève. « Les tranches nues et escarpées des grandes couches du petit et surtout du grand Salève présentent presque partout les traces les plus remarquables du passage des eaux qui les ont rongées et excavées.....

« On peut observer ces excavations sur presque toutes les faces des rochers du mont Salève, du moins jusqu'à la moitié ou les deux tiers de sa hauteur. » (§ 221 et 223.)

« Or, l'élévation du mont Salève est de 312 toises au-dessus du niveau actuel du lac. Il est donc évident que la surface du Rhône s'élevait jadis à 300 toises au moins plus haut qu'aujourd'hui. »

Quel que soit le degré de confiance qu'il soit permis d'ajouter à cette dernière assertion de Saussure, il n'en est pas moins vrai que les eaux qui concourent avec le Rhône supérieur à former le lac Léman, furent jadis tellement abondantes, qu'elles remplissaient l'immense bassin qui s'étend jusqu'au fort l'Écluse, et que là il sortait un fleuve vingt fois plus gros peut-être que le Rhône actuel. Il est probable cependant qu'il diminuera ainsi graduellement, dans la suite des siècles, jusqu'à ce qu'enfin le lac de Genève n'ait plus de trop-plein ¹.

¹ Ce n'est pas toujours graduellement et après un laps de temps considérable que les lacs voient leurs digues : cet effet a lieu quelquefois instantanément, comme dans l'exemple remarquable qui fut rapporté par les journaux russes, au sujet du lac de Souwando. Ce lac, situé dans le gouverne-

Si la diminution des eaux a été aussi marquée sur nos petits lacs, elle doit en avoir offert des traits bien plus saillants sur les contrées basses de l'Asie et de l'Amérique; en effet, les beaux travaux de M. J. de Klaproth indiquent que les traditions chinoises annoncent l'existence d'une mer intérieure qui couvrait les grandes plaines de la Sibérie, situées entre l'Irtyche et l'Ob, sur les steppes de Baraba. Nous avons déjà dit que, selon toute apparence, les bassins des fleuves Saint-Laurent et du Mississipi étaient autrefois confondus, à une époque où peut-être des lacs immenses couvraient encore une grande partie de l'Amérique, comme M. de Humboldt semble l'indiquer dans une de ces idées jetées au hasard, mais qui caractérisent à la fois l'homme de génie et le profond observateur.

« Si d'autres faits géologiques nous autorisent à regarder les trois grandes plaines du bas Orénoque, de l'Amazone et du Río de la Plata, comme des bassins d'anciens lacs, on croirait reconnaître, dans les plaines du Río-Vichada et du Meta, un canal par lequel les eaux du lac Supérieur, celles des plaines de l'Amazone, se sont frayé un chemin vers le bassin inférieur, celui des Llanos de Caracas, en séparant la Cordillère de la Parime de celle des Andes. Ce canal est une espèce de détroit terrestre ². »

ment russe de Wiborg, à l'ouest du lac Ladoga, avait environ neuf lieues de longueur sur une de largeur, et était cependant le plus petit de la Finlande. Il était séparé du lac Ladoga par une espèce d'un quart de lieue de largeur sur lequel s'élevait une colline de sable; l'excès de ses eaux dégorgeait dans la Wuoxa, petite rivière qui va du lac Saima au lac Ladoga. Le 14 mai, les eaux de ce lac Souwando, gonflées par la fonte subite des neiges et par les vents, se précipitèrent sur la colline qui lui servait de barrière, la détruisirent, en entraînant les débris et se réunirent pour toujours au lac de Ladoga. Son niveau baissa de 29 pieds; sa longueur n'est plus que de trois lieues. Ses eaux ne se déversent plus dans la Wuoxa, mais elles tombent en cascades dans un canal qu'elles ont creusé. Les habitants se sont emparés, pour le cultiver, du vaste espace délaissé par les eaux.

¹ Journal de Klaproth, Magasin encyclopédique. Septembre 1817, p. 154.

² Humboldt, l' voyage aux régions équinoxiales, t. VI, p. 61.

CHAPITRE NEUVIÈME.

DES MERS.

On donne le nom de mers à de *grands amas d'eau salée*, qui occupent les parties les plus basses du globe, et en recouvrent environ les trois quarts. La majeure partie de cette eau environne les continents, et constitue ce qu'on appelle l'*Océan*. Celui-ci pénètre plus ou moins dans les terres et forme des mers partielles qui restent en communication avec la mer principale; on les désigne sous le nom de *méditerranées*, parce qu'en effet la terre les entoure, excepté au point où existe la communication. Enfin, de grands amas d'eau salée existent aussi sans issue dans l'intérieur des terres, aucun détroit ne les réunit à l'Océan, aucun cours d'eau considérable ne les met en communication avec d'autres mers; ce sont des *caspiennes*, que nous avons considérées comme de vastes lacs.

Le point de jonction de la terre et de l'eau prend le nom de *rivage*. Si deux rivages se rapprochent, ils forment un *détroit*. Les montagnes ou les langues de terre, qui avancent dans la mer, sont des *caps* et des *promontoires*; les sommets élevés qui paraissent au-dessus des eaux sont des *îles*, et les vallées par lesquelles l'eau de la mer entre dans les terres, constituent des *golfs* si elles appartiennent au continent, des *baies* si elles se trouvent dans des îles.

DISTRIBUTION GÉOGRAPHIQUE DES MERS.

M. Bory de Saint-Vincent, que nous prendrons souvent pour guide dans cet article, est le premier qui ait donné une bonne distribution géographique des mers. Il distingue, comme nous venons de le faire, l'Océan, les

méditerranées, les golfs et les caspiennes.

Océan.

C'est cette immense quantité d'eau qui environne les continents et recouvre les trois quarts de la terre. Nous y admettrons avec M. Bory les cinq régions suivantes :

1° *Océan arctique*. — Son centre est supposé au pôle arctique ou boréal. Les côtes du Groënland, de l'Islande, de l'Écosse, de Norwège, de Russie, de l'Asie et de l'Amérique du Nord, sont ses rivages. Les îles Féroë, du Spitzberg, de la Nouvelle-Zemble et Liakof en sont les archipels. Cet océan communique avec le suivant par le détroit de Bhéring, peut-être par la baie de Baffin, enfin par le canal plus large qui s'étend de la mer des Esquimaux aux rivages écossais.

2° *Océan atlantique*. — Il est borné au nord par le précédent, dans la direction d'une ligne qu'on peut tirer des côtes nord-est du Labrador jusque vers les Hébrides. Il est contenu entre l'Ancien et le Nouveau-Monde; il finit au midi, obliquement, dans une ligne qui s'étendrait de la pointe méridionale de l'Afrique vers le détroit de Magellan, en passant par les Malouines. L'équateur le partage en deux parties à peu près égales, de sorte qu'on pourrait le subdiviser en boréal et austral. Les îles de la première subdivision sont Terre-Neuve, les Bermudes, les Açores, Madère et les Canaries; celles de la partie équinoxiale sont l'archipel du Cap-Vert, l'Ascension, Sainte-Hélène, Martin-Vas avec quelques rochers épars dans le golfe de Guinée. Les îles de Tristan d'Acunba sont les seules qui méritent d'être citées dans la partie méridionale.

C'est dans la partie septentrionale de cet océan, que l'on observe le Gulf-Stream, grand courant que nous étudierons dans l'un des paragraphes suivants.

3° *Océan antarctique*. — C'est le plus grand de tous. Il enveloppe le pôle antarctique et ses montagnes de glace. Aucun continent n'est baigné par cet océan, dans la direction duquel s'avancent toutes les pointes méridionales de la terre habitable, sans pour cela y atteindre. Ainsi, l'extrémité de l'Afrique, les côtes de l'Australasie, y compris celles de la Terre de Lewin, jusqu'aux antipodes de Paris, et l'extrémité de l'Amérique méridionale, sont exposées à son influence, sans que les flots y viennent baigner immédiatement les rivages. Les îles sont celles de la Désolation et quelques écueils privés de végétation.

4° *Océan indien*. — Il confine vers le sud avec l'océan dont nous venons d'indiquer les limites, en suivant la courbe qu'on tirerait du midi de l'Afrique à la Terre de Lewin par la côte septentrionale de la Terre de Kerguelen; les côtes africaines de l'est le bornent à l'occident, les rives occidentales de l'Australasie au levant, et les îles de la Sonde, les côtes de l'Inde, de la Perse, avec celles de l'Arabie, le contiennent au nord; Madagascar et Ceylan y sont comme des fragments de continents détachés. Les îles Trials, des Cocos, de Nicobar, d'Andaman, de Chagos, Maldives, Laquedives, Rodrigue, de France, de Bourbon, des Séchelles, de Comore, et Socotora, y forment des archipels ou des terres isolées.

5° *Océan pacifique*. — Il est situé entre la Polynésie ou Océanie, l'Asie orientale, l'Amérique occidentale et l'Océan antarctique. Cet océan, très-ouvert vers le sud, s'y termine à peu près dans la ligne sinueuse qu'on peut tirer de la Terre de Van-Diemen à la Nouvelle-Zélande, et de celle-ci vers les côtes du Chili. Les îles Aléoutiennes, au nord, en séparent la mer de Béring. Des archipels nombreux, dont plusieurs sont à peine connus, en remplissent la plus grande partie, surtout entre les tropiques, à l'est de la Polynésie.

Méditerranées.

Celles-ci sont assez nombreuses et le deviendront peut-être davantage par la suite.

Elles communiquent toujours avec l'Océan, mais plusieurs d'entre elles sont privées des marées qui agitent continuellement ses eaux.

1° *Méditerranée proprement dite*. — Elle sépare l'Europe de l'Afrique, à peu près entre les 30° et 43° degrés de latitude nord, et s'étend de l'est à l'ouest depuis l'Asie jusqu'aux colonnes d'Hercule, dans une longueur d'environ 900 lieues; sa largeur est bien moins considérable.

La mer Noire, dont celle d'Azof n'est qu'un appendice, doit en être considérée comme une dépendance, et la mer Adriatique y est comme une méditerranée secondaire qu'en distingue le canal d'Otrante.

2° *Méditerranée Scandinave ou mer Baltique*. — Elle est entièrement européenne et septentrionale; elle suit une direction presque perpendiculaire à la précédente, et sa largeur est de 30 à 80 lieues environ de l'est à l'ouest; elle s'étend en longueur depuis le 54° parallèle jusqu'au 66° environ. Le golfe de Bothnie dans sa partie boréale, de Finlande vers l'est, et de Livonie, en sont les principaux enfoncements riverains; elle communique à la mer du Nord, par où s'avance, vers le sud, l'Océan arctique, au moyen de détroits que forment, entre la presqu'île de Jutland et la Suède méridionale, des îles dépendant de la couronne de Danemark. Rugen, Bornholm, Oland, Gothland, Oësel, Dago et Aland, en sont les autres îles principales. Une multitude de rochers forment l'archipel d'Abo, entre cette dernière et la Finlande.

3° *Méditerranée Erythrée ou mer Rouge*. — Elle sépare l'Afrique de l'Asie; c'est la plus étroite de toutes; la marée y est très-sensible; elle n'a que 70 lieues de l'est à l'ouest, sous le tropique du cancer qui la traverse, et 80 lieues dans sa plus grande largeur, entre l'Yémen et les confins septentrionaux de l'Abyssinie; sa longueur, prise du nord-ouest, c'est-à-dire du fond de la corne de Suez jusqu'au détroit de Bab-el-Mandel, par le sud-ouest, est d'environ 8 degrés de latitude.

4° *Méditerranée Persique*. — Elle est située entre la Perse et l'Arabie, et se lie à l'Océan par un seul détroit qui lui communique les mouvements de flux et reflux; sa longueur est peu considérable. On la considère ordinairement

rement comme un golfe ; et c'est sous ce nom qu'elle est désignée sur les cartes.

M. Bory considère encore comme mers méditerranées :

5° *Méditerranée Sinique*. — Elle s'étend depuis l'extrémité boréale de la Manche de Tartarie jusqu'à l'extrémité de la presqu'île de Malaca. Elle communique à l'Océan par un grand nombre de détroits qui disparaissent, selon M. Bory, et formeront alors une véritable méditerranée.

6° et 7° *La mer d'Okhotsk et celle de Béh-ring*, toutes deux rapprochées du pôle.

8° *La méditerranée Colombienne*, dans laquelle il réunit le golfe du Mexique et la mer des Antilles.

9° *La baie d'Hudson*, dans le nord du continent américain, et dont on ne connaît pas encore bien les contours.

M. Bory suppose que le nombre des méditerranées augmentera, que les détroits disparaîtront, et qu'il se formera dans l'intérieur des terres, des mers isolées comme celles que nous avons étudiées sous le nom de *caspiennes*. Nous reviendrons, à la fin de cet article, sur ces idées théoriques.

Caspiennes.

M. Bory désigne ainsi les mers intérieures ou les lacs d'eau salée. La salure de l'eau est, selon lui, ce qui distingue les caspiennes des lacs, qu'il considère toujours comme remplis par des eaux douces. Il place dans cette série la Caspienne proprement dite, située entre l'Asie et l'Europe ; la mer d'Aral, à l'orient de la précédente, et beaucoup plus petite qu'elle ; la mer Morte et la mer Baikal, qui ne sont que de grands lacs.

Nous n'étendrons pas plus loin cette esquisse géographique de la distribution des mers ; nous allons étudier les principaux phénomènes qu'elles présentent.

DU MOUVEMENT DES MERS.

Trois causes principales, périodiques ou continues, changent à chaque instant la surface des mers, mélangent les flots et empêchent l'équilibre parfait qui règnerait dans toutes les couches de l'Océan si aucune force

perturbatrice ne venait en agiter les eaux.

La première de ces causes, celle qui détermine sur l'étendue des mers les oscillations du flux et du reflux, dépend presque entièrement d'attractions planétaires, et nous l'avons déjà étudiée dans la première partie de cet ouvrage comme un phénomène astronomique.

La seconde est due aux vents, qui sont quelquefois très-impétueux, et qui peuvent soulever les flots avec bien plus de force que l'attraction qui détermine les marées. Nous avons aussi décrit les vents, les trombes et les tempêtes, nous n'y reviendrons pas ; il nous suffira de dire quelques mots des vagues, en parlant de la physionomie des eaux.

La troisième est la seule qui nous reste à examiner, et celle qui, peut-être, contribue le plus puissamment au mélange des eaux. Ce sont les *courants* qui existent, soit à la surface, soit à de certaines profondeurs, et dont la cause est loin d'être bien connue.

Pour étudier les courants avec plus de méthode, nous allons d'abord énumérer les principaux, et à cet effet nous les partagerons en quatre classes :

1° En courants constants ; 2° courants périodiques ; 3° courants temporaires ; 4° courants accidentels.

Les deux dernières classes ont peu d'importance.

1° *Courants constants.*

Les courants constants sont ceux qui existent dans toutes les saisons, dans des directions qui sont sensiblement les mêmes, mais leur vitesse peut varier. Leur constance est telle que les navigateurs s'en servent comme de grands fleuves pour se diriger sur différents points de l'Océan, et souvent ils changent de direction pour profiter de ce singulier moteur. C'est ainsi que pour aller d'Europe en Amérique on descend jusqu'à la latitude des Canaries, pour prendre le courant qui porte avec rapidité à l'occident, et l'on fait de même pour aller d'Amérique en Asie par l'Océan Pacifique.

Un des principaux est le grand courant qui partant de la mer des Indes va doubler le cap de Bonne-Espérance et remonte ensuite le long de la côte d'Afrique, presque sous les régions équatoriales, puis il traverse l'Atlan-

tique et va frapper les rivages de l'Amérique. Ce continent lui oppose une barrière insurmontable ; l'eau s'accumule par la force d'impulsion qu'elle en reçoit, et s'échappe par le détroit de la Floride, formant ainsi un courant considérable qui se dirige vers le nord, tourne à l'est, au sud-est, se dirige vers les côtes occidentales de l'Europe et du nord de l'Afrique, et vient ensuite se réunir avec la partie nord du courant équatorial, et traverse de nouveau l'Atlantique.

Entre les îles Laquedives, près de la côte de Malabar et le cap de Bassas, sur la côte orientale de l'Afrique, il y a un courant constant vers l'ouest, ou plus exactement au sud-ouest ou à l'ouest-sud-ouest, avec une vitesse de 8 à 12 milles par jour. Au sud de l'équateur, dans la mer des Indes, les courants portent vers l'ouest. Enfin dans le canal de Mozambique, pendant la saison des moussons du nord-est, des courants se dirigent, au sud, tout le long de la côte d'Afrique, et de même, plus au large, avec une vitesse d'environ 7 à 8 lieues par jour, tandis que, sur la côte de Madagascar, les courants ont une direction en sens contraire. A l'extrémité méridionale de l'Afrique, les courants venus de la partie nord-est, tournent le banc des Aiguilles (banc de *Aguilhas* ou de *Lagullas*), qui présente une étendue considérable, et qui, d'après les sondages qui y ont été faits, a un fond de vase à l'ouest du cap des Aiguilles, et, à l'est, un fond de sable mêlé d'une grande quantité de petites coquilles. Reunel nous apprend que ce courant acquiert sa plus grande force dans l'hiver, et que sa partie la plus extérieure s'avance vers le sud jusqu'au 39° degré de latitude sud avant de tourner au nord, après quoi il remonte lentement le long de la côte occidentale de l'Afrique, jusqu'à l'équateur, et même au delà. La vitesse générale du courant autour du banc n'est pas encore bien connue. Seulement on sait qu'il a transporté un vaisseau à une distance de 170 milles en cinq jours, ce qui fait 32 milles par jour.

Au delà de Sainte-Hélène, ce courant se mêle au courant équatorial de l'Atlantique, et se porte, de la mer d'Éthiopie, aux Indes occidentales ; sa vitesse, dans ce trajet, n'a pas encore été exactement déterminée, mais on l'évalue généralement à un mille et demi

par heure, en s'accroissant à mesure qu'il avance vers l'ouest ; sur les côtes de la Guyane, elle s'élève à 2 ou 3 milles par heure. Le capitaine Sabine qui, partant de Maraham en 1822, navigua dans ce courant, porte sa vitesse à 99 milles par jour, ce qui est un peu plus de 4 milles par heure. La direction de la partie centrale du courant est vers l'ouest-nord-ouest.

De la Trinité au cap de la Vela, sur la côte de la Colombie, les courants balaient les îles voisines en tournant un peu au sud, suivant le détroit d'où ils viennent. Leur vitesse est d'environ un mille et demi par heure, avec de légères variations. Entre les îles et la côte, et principalement près de celle-ci, on remarque que le courant va tantôt vers l'ouest, tantôt vers l'est. Du cap de la Vela, la principale partie du courant se dirige à l'ouest-nord-ouest ; et comme il s'élargit, sa marche devient moins rapide. Il y a néanmoins une branche qui se porte avec une vitesse d'un mille par heure sur la côte de Carthagène. A partir de ce point, et dans l'espace compris entre la côte et les 14° de latitude, on a observé que les eaux se meuvent vers l'ouest dans la saison sèche, et vers l'est dans la saison des pluies.

On a assuré qu'un courant constant pénètre dans le golfe du Mexique par la partie ouest du canal de Yucatan ; tandis qu'il y a généralement dans la partie est du même canal un contre-courant qui a tourné le cap St.-Antoine de l'île de Cuba.

Sur les côtes septentrionales de Saint-Domingue, de Cuba, de la Jamaïque, et dans le canal de Bahama, les courants paraissent variables : leur plus grande vitesse est d'environ deux milles par heure.

L'accumulation des eaux dans la mer des Caraïbes et le golfe du Mexique n'en élève pas le niveau autant qu'on serait tenté de le supposer. La différence de niveau entre la mer Pacifique et la mer du Mexique, observée par M. Lloyd, dans ses recherches sur l'isthme de Panama, est de 3,52 pieds (1 mètre 73 millimètres), et est à l'avantage de la mer Pacifique, résultat auquel on était loin de s'attendre. Cependant les mesures ont été prises avec tant de soin, qu'il n'est guère permis de douter de l'exactitude. La haute

mer est, à Panama, de 13,53 pieds (4 mètres 15 centimètres) plus élevée qu'à Chagres sur l'Atlantique; mais il résulte de la différence des marées sur les deux rives de l'isthme, qu'à la marée basse, l'Atlantique est de 6,51 pieds (près de 2 mètres) supérieure à l'Océan Pacifique; or, si nous considérons quel immense volume d'eau est ainsi accumulé par l'action des courants, pour produire, sur une surface aussi vaste que celle du golfe du Mexique, une élévation de huit pieds et même moins, au-dessus de l'Océan Atlantique, nous serons moins surpris de la vitesse du courant due à l'écoulement de cette masse d'eau par le détroit de la Floride.

La température des eaux qui se sont échauffées dans le golfe du Mexique et la mer des Caraïbes, étant plus grande que celle des eaux situées au nord des tropiques à travers lesquelles coule le courant du golfe (Gulf-Stream), leur pesanteur spécifique doit aussi être moindre, et par conséquent elles doivent s'épandre sur des eaux plus froides et par suite plus pesantes, précisément comme cela a lieu pour les fleuves qui se jettent dans la mer et qui continuent de couler ainsi jusqu'à ce que leur marche, graduellement ralentie, cesse entièrement.

Un courant très-remarquable est le grand courant atlantique septentrional, si connu sous le nom de *Gulf-Stream*, et qui parcourt une immense courbe fermée, dont le développement est d'environ 3,800 lieues.

Des Canaries, vers lesquelles il circule, à partir des côtes d'Espagne, il pourrait conduire en treize mois aux côtes de Caracas; il met dix mois à faire le tour du golfe du Mexique, d'où il se jette, pour ainsi dire, par une accélération de vitesse, dans le canal de Bahama, après lequel il prend le nom de courant des Florides; il longe alors les États-Unis et parvient, en deux mois, vers le banc de Terre-Neuve; de Terre-Neuve aux Canaries, en passant près des Açores, et se dirigeant vers le détroit de Gibraltar, d'où il se courbe au sud-ouest, le Gulf-Stream achève de parcourir la fin de sa révolution qui dure presque trois ans et dix à onze mois.

La vitesse et par conséquent la largeur de ce courant sont extrêmement variables, et les vents mêmes ont sur cette vitesse une très-

grande influence. Sous le méridien de la Havane, sa direction est nord-est, et il avance d'environ deux milles et demi à l'heure. A la hauteur de la pointe la plus méridionale de la Floride, et à environ un tiers de sa largeur, à partir des rescifs, il parcourt quatre milles à l'heure, et sa vitesse croît encore un peu entre la Floride et les îles Bernini. Sur la côte de Cuba, il n'y a qu'un très-faible courant, partant à l'est. Un contre-courant descend le long des côtes de la Floride, vers le sud-ouest et l'ouest, et les petites embarcations en profitent pour venir des côtes septentrionales.

Vers la fin de 1822, le capitaine Sabine, après avoir dépassé le cap Hatteras, a mesuré la vitesse du Gulf-Stream, et a trouvé qu'elle était de 77 milles par jour; mais le capitaine Livingston fait remarquer qu'on ne peut guère compter sur la vitesse observée en différents points de ce courant. Il rapporte avoir trouvé, les 16 et 17 août 1817, une vitesse de cinq nœuds et plus; les 19 et 20 février 1819, elle était presque imperceptible, et en septembre 1819, il la trouva à peu près telle que la donnent les cartes marines.

Un courant violent vient des mers polaires, à travers le détroit de Davis et la baie d'Hudson; on l'appelle communément le courant du Groënland, ou le courant polaire. Il descend, au sud, le long de la côte d'Amérique à Terre-Neuve, entraînant avec lui d'énormes glaçons jusqu'au delà du grand banc de Terre-Neuve. Les capitaines Ross et Parry ont trouvé que sa vitesse était de trois à quatre milles par heure dans la baie de Baffin et le détroit de Davis.

Un courant, venant des régions polaires, existe dans la partie nord de l'Atlantique, entre l'Amérique et l'Europe. Lors de l'expédition entreprise par le capitaine Parry pour atteindre le pôle nord sur la glace, il produisit un mouvement des glaces, vers le sud, qui fut tel qu'il l'obligea d'abandonner l'expédition.

Le courant polaire, venu du détroit de Davis, paraît se mêler au Gulf-Stream, et tournant alors à l'est, se diriger vers les côtes de l'Europe et de l'Afrique. En dehors des côtes de Terre-Neuve, sa vitesse est quelquefois de deux milles par heure; mais elle est

graduellement modifiée par les vents. A environ 3 degrés à l'ouest du cap Finistère, il parcourt trente milles par jour.

Entre le cap Finistère et les Açores, on observe une tendance générale des eaux de la surface vers le sud-est, laquelle varie en hiver. En septembre 1833, le lieutenant Hare naviguant entre les latitudes nord 43°, 20 et 43°, 40, et les longitudes ouest 22°, 30 et 16°, rencontra un courant qui portait à l'est-sud-est, avec une vitesse d'un mille et demi par heure. Renneil remarque, relativement aux courants observés entre le cap Finistère et les îles Canaries, que l'on peut regarder comme certain que toute la surface de la mer Atlantique comprise entre les parallèles des 30° et 45° degrés de latitude nord, et au delà, et à une distance de 100 à 130 lieues du rivage, a un mouvement dirigé vers le détroit de Gibraltar.

Près de la partie des côtes d'Espagne et de Portugal qui porte le nom de Wall, le courant se dirige constamment vers le sud, après avoir été plutôt vers l'est, à la hauteur du cap Finistère, et il continue ainsi jusqu'au parallèle de 25° de latitude nord, et se fait sentir jusqu'au delà de Madère, qui est au moins à 130 lieues de la côte d'Afrique. Plus loin commencent les courants sud-ouest, dus sans aucun doute à l'action des vents alisés. D'après Renneil, la vitesse des eaux du courant varie considérablement, étant de 12 à 20 milles et plus par jour. Il regarde 16 milles comme au-dessous du terme moyen.

Un courant règne le long de l'Afrique, depuis les Canaries jusque dans le golfe de Guinée, passant à l'ouest de la baie de Biafra; il est interrompu par la saison des pluies et par les vents harmattan. Sa vitesse du cap Bojador aux îles de Los n'excede jamais un mille et demi par heure près de la côte; et sur le bord extérieur du banc, le plus souvent elle est au-dessous d'un mille. A quatre lieues de la côte, elle n'est que d'un demi-mille et même moins. Sous le méridien, qui passe à 11° ouest de longitude, sa vitesse est de 25 milles vers l'est-sud-est en vingt-quatre heures. A la hauteur du cap de Palmas, il se dirige à l'est avec une vitesse de 40 milles par jour. Depuis le cap des Trois-Pointes jusqu'à la baie de Benin, sa vitesse varie de 15 à 30 milles. A partir de ce point, sa force

décroît. Il tourne au sud, puis au sud-ouest, entre les 6° et 8° degré de latitude sud, et de là revient au nord-ouest vers les îles du cap Vert. On pense toutefois que le courant qui se meut vers l'est, dans le golfe de Guinée, ne forme pas exactement continuité avec celui qui coule du cap Bojador au sud.

On a indiqué un courant qui va, pendant la plus grande partie de l'année, de la mer Pacifique dans l'Atlantique, en longeant les côtes de la Terre-de-Fen, et doublant le cap Horn. Entre le détroit de Magellan et l'équateur, nous trouvons sur toute la côte occidentale de l'Amérique du sud, un courant dirigé vers le nord. A quatre-vingts lieues de la côte, entre le 15° degré de latitude sud et l'équateur, et même jusqu'au 13° degré de latitude nord, les eaux courent généralement à l'ouest. Le capitaine Hall cite, à la hauteur des îles Galapagos, un courant dirigé au nord-nord-ouest. — A Guyaquil un violent courant sort du golfe avec une vitesse de 40 milles par jour. Entre Panama et Acapulco, et à environ 180 milles de cette dernière ville, le capitaine Hall a rencontré un courant bien régulier se dirigeant vers l'est en tirant au sud avec une vitesse qui varie entre 7 et 37 milles par jour. De grandes quantités de bois sont charriées du continent américain à l'île de Pâques, par un courant qui suit cette direction. — On a observé à Juan-Fernandez, et jusqu'à 300 lieues à l'ouest de cette île, des courants de 16 milles par jour, portant à l'ouest-sud-ouest. — Vers les îles Marquises les eaux ont une vitesse de 26 milles par vingt-quatre heures. Entre les îles Marquises et les îles Sandwich, des courants vers l'ouest, parcourant 30 milles, règnent pendant les mois d'avril et mai. Vers la Californie, on a observé un fort courant portant au sud, et un autre se dirigeant au nord, le long de la côte nord-ouest de l'Amérique, à partir du cap Orford. La vitesse de ce dernier est d'un mille et demi par heure.

Un courant dirigé vers le nord se fait sentir dans le détroit de Bhéring; on suppose qu'après un long trajet au nord de l'Amérique, il se jette à travers la baie de Baffin et le détroit d'Hudson dans l'Atlantique.

King a rencontré dans les parages des îles du Japon un courant de cinq milles à l'heure,

portant au nord-est; mais il a remarqué en même temps qu'il variait considérablement en force et en direction.

Un courant venu du nord-est, circule avec violence entre les îles Philippines. On a trouvé que sa vitesse, dans le voisinage de ces îles, était de 20 milles par jour; mais elle varie.

Cook a reconnu, dans le mois d'août, entre Botany-Bay et le 24° degré de latitude sud, un courant de 10 à 15 milles par jour, allant au sud. Sur cette même partie des côtes de l'Australie, on cite un vaisseau qui fut emporté, dans le mois de mars, à 40 milles au sud en vingt-quatre heures. Dans le mois de juillet, un autre vaisseau fut entraîné dans la même direction à une distance de 30 milles en deux jours.

Dans la Méditerranée, on observe constamment un courant portant à l'est, avec une vitesse d'environ 11 milles par jour. On avait pensé qu'il existait un contre-courant ou un courant sous-marin vers l'ouest, lequel versait dans l'Atlantique les eaux de la Méditerranée, rendues plus salées et par suite plus denses par l'évaporation; mais ce fait a été contesté dans ces derniers temps. Le docteur Wollaston a fait observer que le sel apporté dans la Méditerranée par le courant venu de l'Atlantique, devrait y rester après l'évaporation de l'eau qui le tenait en dissolution, s'il n'y avait quelque moyen de renouvellement des eaux. Il en a conclu que ce sel devait être emporté par le courant sous-marin dont on admet communément l'existence. Cette opinion lui a paru confirmée par l'expérience du capitaine Smith, qui, ayant puisé de l'eau à une profondeur de 670 brasses, et à 50 milles au-delà du détroit, trouva qu'elle contenait quatre fois autant de sel que l'eau de mer ordinaire. Au contraire, l'eau prise à des profondeurs de 450 et 400 brasses, à une distance du détroit de 450 et 680 milles, ne présentait que la proportion de sel ordinaire. Le docteur Wollaston a fait observer en outre que si le courant inférieur avait la même profondeur et la même largeur que le courant supérieur, et seulement un quart de sa vitesse, il suffirait pour reporter dans l'Océan tout le sel que ce dernier aurait introduit dans la Méditerranée.

Les eaux de l'Atlantique entrent dans la

Méditerranée sous la forme d'un large courant dont la vitesse est accélérée par le rapprochement des côtes. Les eaux affluentes, introduites par le détroit de Gibraltar, suivent la lisière septentrionale, tournent entre l'île de Crète et les côtes de Syrie, et baignent ensuite les côtes d'Afrique, s'enfoncent dans les régions inférieures de la Méditerranée, d'où elles ressortent par-dessous, de manière qu'entre la pointe méridionale de l'Espagne et l'extrémité septentrionale de l'empire de Maroc, il existe un courant supérieur et un courant inférieur, comme cela paraît aussi avoir lieu dans le canal de Bahama.

Pendant longtemps on a ignoré l'existence d'un courant inférieur, sortant de la Méditerranée par le détroit de Gibraltar; et de nouvelles observations semblent encore la contester. L'on croyait que l'évaporation qui a lieu à la surface de cette mer n'étant pas compensée par les fleuves qui viennent y affluer, il en résultait un courant accidentel de l'Océan pour rétablir l'équilibre; opinion que l'on peut encore admettre, car il se peut très-bien que le courant inférieur soit moins considérable que le supérieur.

La mer Noire présente un phénomène opposé. Il en sort continuellement un courant par le détroit des Dardanelles, et ce courant vient encore alimenter la Méditerranée. Là, on n'a pas reconnu de courant inférieur, qui reportât l'eau de la Méditerranée dans la mer Noire, et comme celle-ci, quoique d'une petite étendue, est alimentée par cinq grands fleuves: le Danube, le Niester, le Bog, le Don et le Borysthène, il pourrait très-bien se faire que la quantité qu'ils apportent fut trop grande pour être enlevée par l'évaporation.

Un courant constant coule de la Baltique dans la mer du Nord par le Sund et le Cattegat. Sa vitesse, dans la partie la plus resserrée du Sund, est d'environ trois milles par heure, mais généralement elle n'est, par un beau temps, que de 1 $\frac{1}{2}$ ou 2 milles. Les courants, à leur sortie du Sund et des deux Belts, se dirigent vers la pointe de Skagen (Jutland), et de là tournent au nord-est vers Marstrand (Suède) avec une vitesse de 2 milles par heure. Il n'est pas impossible qu'il existe un contre-courant ou courant sous-marin de l'Océan dans la Baltique, car le capitaine Patton

étant à l'ancre, à quelques milles d'Elseleur, dans le courant supérieur qui avait une vitesse de 4 milles à l'heure, observa, en sondant, par une profondeur de 14 brasses, que la ligne de la sonde, en la soulevant un peu au-dessus du fond, se maintenait perpendiculairement : d'où il conclut l'existence d'un courant sous-marin, qui s'opposait à ce que la sonde fût entraînée dans le sens du courant supérieur.

Dans le golfe de Gascogne on observe, d'après M. Bory, un courant très-sensible qui court au nord-est; il reçoit, en suivant la côte de France, les eaux de la Garonne, de la Charente, de la Loire et de la Vilaine, et passant entre les îles et la côte de Bretagne, il va se perdre dans l'Océan.

2^e Courants périodiques.

Les détails circonstanciés dans lesquels nous venons d'entrer sur la marche des courants, sont empruntés, en grande partie, au Manuel de M. de la Bèche, dont M. Brochant a donné une traduction française. Les Anglais ont recueilli, dans leurs nombreux voyages, des détails extrêmement importants sur tous les courants, et bien peu d'ouvrages français contiennent, sur cet objet, autant de détails que celui qui va encore nous servir de guide pour les courants périodiques.

On nomme ainsi les courants dont la direction et la vitesse, et presque toujours les deux, varient à des époques déterminées qui généralement ont pour cause les vents et les saisons.

Les mers des Indes et de la Chine contiennent un grand nombre de ces courants.

De la pointe Saint-Jean (à l'entrée du golfe Cambaye) au cap Comorin, règne dans la direction de la côte, du nord-nord-est au sud-sud-est, un courant presque constant, excepté depuis Cochîn jusqu'au cap Comorin, points entre lesquels la direction du courant est du sud-est au nord-ouest, d'octobre à la fin de janvier.

Il y a un courant de l'Océan dans la mer Rouge depuis le mois d'octobre jusqu'en mai : c'est le contraire pendant le reste de l'année. Les eaux du golfe Persique présentent généralement aux mêmes époques le mouvement inverse, c'est-à-dire que les eaux de l'Océan, pendant tout

le temps que les eaux de ce golfe se dirigent vers l'Océan, entrent dans la mer Rouge, celles-ci n'entrant dans le golfe que du mois de mai au mois d'octobre.

Dans le golfe de Manar, entre Ceylan et le cap Comorin, il y a un courant dirigé vers le nord, de mai en octobre; il passe au sud-ouest et sud-sud-ouest pendant les six autres mois. Le long de la côte de Ceylan, de la pointe de Pedro au nord de l'île, à la pointe de Galle, au sud, règne un courant qui porte au sud-est, sud-sud-est, sud, sud-ouest, et ouest, selon la configuration de la côte; il s'arrête à la pointe de Galle au courant qui vient du golfe de Manar. Sa vitesse ordinaire à la côte sud de Ceylan est d'environ une lieue par heure. Ces courants n'ont que très-peu de force dans les mois de juin et de novembre. Dans la baie du Bengale, les monssons du sud-ouest ou de l'ouest donnent lieu, pendant toute leur durée, à des courants nord-est et est, qui cessent en septembre. Sur la côte d'Orissa, environ huit jours avant l'équinoxe, leur direction est nord et sud, et ils deviennent violents vers la fin du mois. Pendant les moussons nord-est et est, ces courants prennent également la direction des vents régnants dont la force règle leur vitesse.

Pendant les moussons sud-ouest, entre la côte du Malabar et les îles Laquedives, le courant porte au sud-sud-est avec une vitesse de 20, 24 ou 28 milles par jour. Entre les îles Laquedives, il se dirige au sud-sud-ouest et sud-ouest, en parcourant 18 à 22 milles par jour. Après avoir dépassé ces îles, il court à l'ouest ou sud-sud-ouest en faisant de 8 à 11 milles par vingt-quatre heures. Les îles Maldives sont traversées par un courant assez violent. Entre les plus méridionales, sa direction est généralement vers l'est-nord-est, en mars et avril; ils passent à l'est en mai; et, dans les mois de juin et juillet, ils tournent souvent à l'ouest-nord-est, particulièrement au sud de l'équateur. Entre ces îles et celle de Ceylan, ils courent fréquemment avec violence à l'ouest pendant les mois d'octobre, novembre et décembre.

Dans les mers de Chine, à une certaine distance des côtes, les courants se dirigent le plus généralement vers le nord-est, depuis le 15 mai jusqu'en 15 août, et ont une direction

contraire du 15 octobre au mois de mars ou d'avril. La vitesse des courants du nord-est au sud-ouest qui règnent le long des côtes pendant les mois d'octobre, novembre et décembre, est ordinairement plus grande que celle des courants contraires en mai, juin et juillet. C'est entre les flots et les bas-fonds qui bordent la côte qu'ils se meuvent avec le plus de force.

Les plus forts courants que présentent ces mers sont ceux qui règnent pendant la fin de novembre le long des côtes de Cambodge; ils courent au sud avec une vitesse de 50 à 70 milles par jour, entre Avarella et Poolo Ceir da Terra. Une partie du courant s'engage dans le détroit de Malacca, d'où il résulte que la marée court d'un côté pendant neuf heures, et de l'autre pendant trois heures seulement. Les courants dirigés vers le nord ne commencent qu'en avril : après avoir franchi les détroits de Banca et de Malacca, ils longent la côte occidentale du golfe de Siam, tournant à l'est-sud-est pour suivre la côte nord-est du golfe, jusqu'à l'est de la pointe Ooby. Là, ils passent au nord-est pour suivre les côtes du royaume de Cambodge, de la Cochinchine, de la Chine, jusqu'en septembre, époque à laquelle les moussons contraires, et par suite les courants du nord-est au sud-ouest règnent à leur tour jusqu'en mars ou avril.

Des courants périodiques se font sentir, suivant M. Lartigue, le long de la côte occidentale de l'Amérique du sud, depuis le cap Horn jusqu'au 19° degré de latitude sud. Les vents du sud et de l'est-sud-est produisent, sur les côtes du Pérou, un courant du sud-est au nord-ouest, dont la vitesse, qui s'élève quelquefois jusqu'à 15 milles par jour, est moyennement de 9 à 10 milles. Entre ce courant et le rivage est un contre-courant qui coule vers le sud-est.

Pendant que les vents compris entre le nord et l'ouest sont dominants, le courant se dirige vers le sud-est, mais il n'est sensible que près de la terre.

3° Courants temporaires ou variables.

Ces courants sont très-communs sur toutes les mers, et particulièrement le long des côtes; ils sont produits par l'action prolongée des

vents irréguliers qui, en soufflant plusieurs jours de suite, dans la même direction, produisent un courant dont la vitesse n'est jamais bien grande et dont la durée est toujours assez courte. On conçoit qu'ils se forment dans toutes les directions, et qu'il est aussi impossible de prévoir leur formation que de les décrire.

4° Courants accidentels.

On pourrait à la rigueur réunir cette sorte de courants aux précédents, mais ils en diffèrent, en ce qu'ils sont produits par des causes extraordinaires, indépendantes des vents, et tout à fait différentes de celles qui donnent naissance aux courants constants. Nous n'en citerons que deux exemples.

Le premier, rapporté par Saussure, a évidemment pour cause l'affluence des eaux froides. Lorsqu'il voulut descendre son thermomètre dans la mer, près de la côte de Gènes, pour en mesurer la température, les pêcheurs l'en détournèrent.

« Ils nous assurèrent unanimement, dit-il, qu'après des pluies aussi abondantes que celles qui venaient de tomber, les courants portent au couchant avec une telle violence, que, dans l'espace de trois heures, les pêcheurs perdent leurs hameçons; et qu'ainsi, comme nous étions obligés de laisser nos thermomètres dans la mer au moins douze heures, il était à peu près certain que nous ne pourrions point les retrouver. »

Le second a été observé plusieurs fois sur la côte nord du Chili et tout le long de celle du Pérou.

Meyen rapporte, dans son voyage autour du monde, qu'il s'est trouvé, pendant la nuit et par le calme le plus complet, à l'ancre dans le port de Copiapo, lorsque, par une brusque transition et sans coup de vent, d'énormes vagues sont venues soulever le vaisseau où il était, et lui imprimer des secousses si violentes que le mouvement en était insoutenable. Dans d'autres parages, au sud même d'Itrica, par un temps doux et serein, la brise étant à peine sensible, il a vu arriver de la haute mer des vagues de 30 à 40 pieds d'élévation; cependant, sur la côte occidentale de l'Amérique du sud, le flux et le reflux

sont à peu près imperceptibles; ce n'est donc pas au retour périodique de la marée qu'il faut attribuer ce phénomène. On a cru pouvoir l'expliquer par l'influence de la pleine lune; mais M. Meyen oppose à cette théorie que ce roulement, comme on l'appelle, se manifeste sur quelques points de la côte avec bien plus de violence pendant le dernier quartier de la lune, d'où il conclut que cet astre n'en est pas la cause. On pourrait, dit-il, l'attribuer peut-être à une surabondance extraordinaire d'eaux froides, qui affluent du sud-ouest et viennent tomber à la côte péruvienne, dans toute la largeur de l'Arequipa¹. Peut-être aussi est-il dû à de violents dégagements de gaz qui, dans ces contrées où les tremblements de terre sont si fréquents, soulèvent les flots et occasionnent ces grandes fluctuations.

DE LA CAUSE DES COURANTS.

Il est certes bien singulier de voir des cours d'eau sillonner l'étendue des mers, comme nous en voyons marcher à la surface des continents, par la seule pente du terrain. Ici, rien de plus naturel que de voir un fleuve se diriger vers les points les plus bas avec une rapidité qui est toujours en rapport avec les sinuosités de son lit; mais au milieu de l'Océan, pourquoi certaines zones d'eau salée se meuvent-elles dans des directions déterminées et, si elles changent, pourquoi n'éprouvent-elles ces changements qu'à des époques réglées et périodiques?

On n'a pas manqué de proposer pour ce sujet une longue série de théories dont les applications ont toujours été très-difficiles et en général fort peu satisfaisantes.

Il est une chose dont il faut bien se pénétrer dans l'étude des sciences naturelles, c'est que la nature a toujours à sa disposition des moyens très-variés pour arriver à un même résultat, et il est bien rare que l'explication très-rationnelle d'un fait puisse s'appliquer aussi à tous les autres faits du même genre. C'est ce qui a lieu pour les courants, dont les causes sont probablement très-variées.

« En y réfléchissant, dit M. de Humboldt,

» on reconnaît qu'elles sont beaucoup plus
» multipliées qu'on ne le croit généralement,
» car les eaux de la mer peuvent être mises
» en mouvement, soit par une impulsion ex-
» térieure, soit par une différence de chaleur
» et de salure, soit par la fonte périodique
» des glaces polaires, soit enfin par l'inégalité
» de l'évaporation qui a lieu à diverses lati-
» tudes. Tantôt plusieurs de ces causes con-
» courent au même effet, tantôt elles pro-
» duisent des effets opposés¹. »

Parmi les causes extérieures, les principales sont les vents; et l'on ne peut nier en effet qu'ils n'aient une puissance active à la surface des mers. Les vents accidentels et variables, lors même qu'ils sont assez violents pour qu'on puisse leur donner le titre de tempêtes, ne produisent jamais que des courants temporaires et circonscrits. Mais les vents constants ou périodiques communiquent à l'eau qu'ils touchent leur caractère de continuité ou leur alternance. Aussi, c'est en grande partie à l'action des moussons qu'il faut attribuer les courants périodiques, si communs dans les mers des Indes et de la Chine.

Peut-être faut-il aussi placer comme force extérieure qui détermine certains courants, l'impulsion des fleuves qui viennent se rendre à l'Océan. M. Bory de Saint-Vincent considère même cette cause comme celle qui détermine la vitesse et l'existence de ces grands cours d'eau. Il pense qu'en débouchant dans la mer, le courant des fleuves y continue à travers la masse d'eau qui repose sur un fond anfractueux et qu'il doit nécessairement suivre encore, en s'y écoulant, les anfractuosités du sol sous-marin, tout en ralentissant sa progression.

La réunion de ces courants divers et l'opposition invincible que leur présente bientôt le poids de la masse totale des eaux qu'ils viennent grossir, doit produire un courant général, vaste fleuve marin, à peu près parallèle aux côtes, proportionné, en étendue et en rapidité, aux tributs qu'il reçoit des continents, et dont les rivages sont, d'un côté ceux des continents mêmes, et de l'autre la masse centrale des flots.

¹ *Mémorial encyclopédique*, octobre 1835, et *Institut* du 25 novembre 1835.

¹ HUMBOLDT, *Voyage aux régions équinox.*, t. I, p. 144.

Il paraît plus probable cependant que l'évaporation qui se fait d'une manière si inégale sous les différentes zones du globe, que la fonte des glaces polaires et le mouvement de rotation de la terre, sont les principales causes qui, seules ou réunies, donnent naissance aux courants.

On ne peut nier que l'évaporation ne soit beaucoup plus forte sous la zone torride que sur les autres parties de la terre, et dès lors l'eau doit arriver du nord et du sud pour remplacer celle qui se combine avec la chaleur et s'élève en vapeur.

D'un autre côté, les glaces polaires qui forment aux deux extrémités de l'axe du globe des masses considérables d'eau solide, sont soumises successivement à l'action du soleil qui les fond au lieu de les réduire en vapeur ; il en résulte d'immenses courants d'eau froide qui, par leur température, devraient gagner les parties basses des mers, mais qui étant fort peu salées, doivent pénétrer plus ou moins obliquement dans des eaux que le sel rend plus denses et que la chaleur rend plus légères, en sorte que, sous ce rapport, il peut s'établir une sorte de compensation.

Il n'en résulte pas moins deux courants qui vont des pôles à l'équateur, et qui, sans les déviations partielles, viendraient se réunir sous la ligne, après avoir perdu une partie de leur vitesse. Mais il faut bien remarquer que ces deux grands courants polaires n'ont pas lieu à la fois ; pendant que nous sommes en été, le pôle nord, continuellement exposé aux rayons obliques du soleil, laisse fondre une partie de ses glaces, et le courant s'établit ; et pendant la même saison, le pôle sud, plongé dans l'obscurité, se charge au contraire de neiges et de glaçons qui doivent fondre à leur tour. Les deux courants polaires ne peuvent donc pas être constants, et l'on prévoit déjà une partie des causes de la périodicité des courants.

Si pendant que les glaces fondent à un pôle ou à l'autre l'évaporation enlève sans cesse de nouvelles quantités d'eau à l'équateur, il y aura nécessairement double motif pour qu'il y ait toujours un courant des pôles à l'équateur, seulement ce courant sera plus fort au nord ou au sud, selon les saisons. Il faudra nécessairement tenir compte, dans ces varia-

tions, du temps nécessaire pour que l'eau arrive des pôles, sous tel degré de latitude, et des obstacles qui peuvent ralentir sa course et la dévier de son cours. Sans ces obstacles il y aurait donc deux courants qui iraient en ligne droite du nord au sud et du sud au nord, d'une manière assez régulière, et c'est pourtant ce qu'on n'observe pas.

Lorsqu'on approche des latitudes élevées, on remarque bien ces courants polaires qui charrient d'énormes glaçons dans une direction exactement opposée au pôle dont ils partent, et ils sont d'autant plus sensibles que c'est ordinairement en été seulement que l'on peut pénétrer dans ces froides régions ; on y arrive alors à l'époque des plus forts courants. Ce furent ces courants qui empêchèrent le capitaine Parry et son équipage d'atteindre le pôle ; car, tandis qu'ils se traitaient péniblement sur les glaces, celles-ci, emportées dans une direction contraire, les éloignaient, sans qu'ils s'en aperçussent, du point qu'ils désiraient atteindre.

Lorsqu'on approche de l'équateur, cette direction du nord au sud et du sud au nord, selon les hémisphères et la saison, n'est plus celle qui domine. Il y a une tendance générale qui porte à l'occident, et la mer semble fuir les rivages qui sont à l'est. Cette tendance est celle des vents alisés, et le grand courant marin que l'on désigne sous le nom de courant équatorial, est lié aussi à la rotation de la terre. Voici comment Maltebrun explique l'action puissante et la direction de ce courant.

« L'action du soleil et la rotation terrestre diminuent constamment la pesanteur des eaux équatoriales, et l'évaporation en fait disparaître une quantité infiniment plus grande que ne peuvent lui rendre les fleuves. Les eaux des mers plus éloignées de l'équateur sont donc sollicitées de remplir ce vide, et de là proviennent les deux courants polaires. Maintenant les eaux qui viennent des zones plus froides (surtout dans le grand Océan où le passage d'un climat à l'autre est plus rapide), ces eaux ont une pesanteur considérablement plus grande que celles qu'elles viennent remplacer. D'un autre côté, et c'est là l'essentiel, elles sont animées d'un mouvement de rotation infiniment plus lent que ne

l'est la partie d'eau qui se trouve habituellement dans la zone torride ; or, ces eaux, par leur force d'inertie, ne se dépouillent jamais tout d'un coup du degré de mouvement qu'elles ont une fois acquis. Donc elles ne peuvent pas suivre la rotation du globe ; lourdes et immobiles, elles sont tout à coup tombées dans la sphère de la plus rapide mobilité ; elles conservent, pour quelques instants, leur caractère primitif. Mais la partie solide du globe est toujours mue vers l'orient avec la même rapidité dont elle fuit réellement ces eaux, qui, en restant toujours un peu en arrière, semblent se mouvoir vers l'occident et ainsi s'éloigner des rives orientales des continents, tandis que sur les rives occidentales la terre s'avance vers les eaux ; et celles-ci, ne se conformant pas avec assez de rapidité au mouvement de rotation, semblent s'avancer vers la terre. Ainsi ce grand et merveilleux mouvement n'est qu'une vaste et paisible oscillation qui ne dépend que de l'équilibre seulement de l'Océan ; mais lorsqu'une oscillation si puissante trouve dans son chemin des passages étroits, des obstacles qui la gênent, la détournent sans l'arrêter, elle se change en courant violent et souvent dangereux *.

Voilà les principales causes du mouvement des eaux. On voit que ce sont presque les mêmes qui déterminent les courants d'air ou vents réguliers ; mais il y a une bien grande différence entre la surface plane des mers sur laquelle reposent les vents alisés et les mous-sons, et le fond raboteux de l'Océan.

Des continents tout entiers s'opposent, en différents points, à la marche régulière des grands courants ; puis tout d'un coup ils cessent, et le courant, qui ne trouve plus d'obstacle, s'épanche et s'éteint quelquefois tout à fait. Une foule d'îles, formant parfois des archipels nombreux, changent aussi à chaque instant la direction imprimée aux eaux. Souvent toutes les causes qui en altèrent la marche sont sous-marines ; et quoiqu'il n'y ait aucune terre visible, le changement de direction d'un courant indique qu'il existe au fond de la mer des masses saillantes mais cachées par les flots. Ailleurs, des détroits,

diminuant la largeur du fleuve marin, accélèrent sa vitesse, ou le dirigent dans un sens différent. Presque tous les détroits présentent ce phénomène, et il est très-sensible dans les hautes latitudes, où les courants polaires conservent encore toute leur intensité.

Si l'on ajoute à toutes ces causes l'action des vents et celle des fleuves que nous avons déjà étudiée, on trouvera moyen d'expliquer la direction et la plupart des caractères que présente la majeure partie des courants dont nous avons parlé dans la première partie de ce paragraphe. Cette appréciation serait cependant encore assez difficile pour plusieurs d'entre eux qui sont loin d'être suffisamment connus, ou qui du moins n'ont pas été explorés dans toutes les saisons.

On peut expliquer aussi facilement les contre-courants, qui sont des courants marchant en sens contraire. Leur position, relativement aux véritables courants, établit entre eux quelques différences que nous allons examiner.

1° Ils peuvent marcher l'un à côté de l'autre ;

2° Ils peuvent passer l'un sur l'autre ;

3° Ils peuvent arriver l'un contre l'autre.

Premier cas. — On sait que les vents, en venant frapper une chaîne de montagnes, peuvent être réfléchis sous des angles très-différents, selon la forme et la situation de l'obstacle et selon sa vitesse ou sa force d'impulsion. Des phénomènes semblables se présentent au fond de la mer, et l'on peut concevoir aisément une série d'obstacles (îles, écueils, inégalités sous-marines) disposés de telle manière que le courant réfléchi passe à côté de la portion qui doit l'être bientôt, et nous avons cité plusieurs exemples de ces contre-courants. On conçoit encore que des différences dans la température des eaux, ou dans leur salure, établissent des inégalités de pesanteur assez grandes pour former un courant ; l'arrivée d'un grand fleuve, enfin toutes les causes qui ont pu produire le premier courant, peuvent donner naissance à un second, qui, arrivant sous un angle aigu sur le premier, le longe pendant un trajet plus ou moins long, et se meut dans une direction opposée. Plus souvent, il est vrai, le second courant suit la même direction que

* MALTEBRUN, *Géographie universelle*, t. II, p. 276.

le premier, et leurs eaux confondues suivent l'impulsion et prennent la direction communes.

Second cas. — Pour choisir encore un point de comparaison dans les courants d'air, nous rappellerons qu'il n'est pas rare, pendant l'été, de voir deux couches de nuages superposées marcher dans un sens tout à fait différent; c'est aussi ce que l'on voit, mais plus rarement, dans la mer. Il est vrai que cette marche contraire est rarement constante, parce qu'elle tient souvent à l'action du vent qui souffle dans une direction opposée à un courant, et assez violemment pour arrêter l'eau à sa surface et ensuite la faire rétrograder. Il y a cependant de tels courants qui semblent continus.

Mathebrun rapporte, d'après des observations puisées dans les transactions philosophiques, que dans les parages des Antilles, il y a des endroits où un bâtiment peut s'amarer au milieu d'un courant, en laissant tomber à une certaine profondeur connue, un cable auquel est attaché une sonde de plomb. Il doit, sans doute, y avoir à cette profondeur un courant contraire à celui qui règne à la superficie des eaux; le repos vient de l'égalité de ces deux forces qui entraînent, l'une le bâtiment, l'autre le cable avec la sonde.

Dans la mer du Nord, il y a un courant nord qui vient du pas de Calais, et un courant sud qui va depuis les îles Orcades le long des côtes britanniques.

Le navigateur Deslandes en cite aussi un exemple remarquable dans une lettre écrite à Buffon, en 1775. Il était sur la côte d'Afrique, dans le golfe de Guinée, et il voulait aller à Laongo, à quelques degrés plus au sud; mais un fort courant qui venait du midi lui fermait le passage.

Étant mouillé par huit brasses d'eau, il s'aperçut qu'il existait un courant inférieur contraire à celui de la surface. Pour s'en assurer, il attacha une serviette à la corde d'une ligne, un peu au-dessus du plomb. Dès que la serviette toucha l'eau, elle prit la direction du courant supérieur. A trois brasses de profondeur, elle flottait indifféremment autour de la ligne, mais de là jusqu'au fond elle prenait une direction contraire à la première.

Deslandes répéta l'expérience à quelques lieues de la côte, où la mer avait environ cinquante brasses de profondeur; là le courant supérieur se faisait sentir jusqu'à la profondeur de douze à quinze brasses.

Pendant deux mois et demi que Deslandes fut dans cette situation, ces effets eurent lieu à divers intervalles, qui équivalaient à un mois; dans les autres temps, toute la masse du courant se portait en entier dans le golfe de Guinée.

Ce navigateur se servit ingénieusement de ce contre-courant pour avancer contre le courant supérieur; il imagina une machine qui présentait beaucoup de surface, et qui étant descendue jusqu'au courant inférieur, était entraînée assez fortement pour remorquer le navire, et lui faire faire environ une demi-lieue par heure¹.

Parmi les doubles courants superposés, un des plus célèbres est celui du détroit de Gibraltar. On sait, à ne pas en douter, qu'un courant marchant avec une vitesse de 11 milles par jour, entre par ce détroit et amène continuellement des eaux à la Méditerranée, qui du reste en reçoit aussi de la mer Noire. On explique facilement ces courants, en supposant avec beaucoup de vraisemblance que l'évaporation qui a lieu sur ce bassin enlève beaucoup plus d'eau que les fleuves ne peuvent en fournir. L'inverse a lieu pour la mer Noire, et elle verse son excédant dans la Méditerranée.

L'existence du contre-courant est plutôt supposée que prouvée. On pense qu'après avoir été soumise à l'évaporation, l'eau, devenue plus salée, doit retourner dans l'Océan; et comme il n'y a qu'une issue, et que la partie supérieure est occupée par un courant, on a admis, par un raisonnement très-rationnel, la présence sous-marine du contre-courant.

M. Lyell ne pense pas que l'on puisse adopter cette idée, et il n'admet pas son existence.

Troisième cas. — Il est bien rare que deux courants, arrivant en sens contraire, viennent précisément se heurter. Cependant on en a des exemples, et ils sont presque toujours

¹ Dictionnaire de Diderot, 1^{re} édition, article Courant.

sités à peu de distance de passages étroits. Ils commencent dès leur contact à décrire une courbe qui devient assez souvent une spirale dont les spires se multiplient jusqu'à ce que les deux courants soient réunis ou que l'un des deux se soit échappé. Ces points de contact sont très-redoutés des navigateurs,

surtout lorsque de hautes marées viennent ajouter encore à leur puissance, et ils ont causé plus d'un naufrage. C'est à cette cause qu'il faut rapporter les *Tornados*; le fameux *Charybde*, dans le détroit de Sicile; l'*Euripe* près de l'île d'Eubée; le *Malström*, dans la Norvège septentrionale.

CHAPITRE DIXIÈME.

DE LA PROFONDEUR DES MERS, DE LA TEMPÉRATURE ET DE LA NATURE DE LEURS EAUX.

Il est bien difficile de connaître la configuration du fond des mers; mais on doit supposer, avec assez de vraisemblance, que ce fond ressemble à la surface de nos continents. Il doit y avoir des vallées et de vastes plaines dont les sommets, en s'élevant au-dessus des flots, viennent y former des îles plus ou moins étendues, ainsi que de hautes montagnes. Cependant cette surface doit différer de celle des continents, car les dépôts des fleuves et les dépouilles des animaux marins, entraînés par les courants, doivent à la longue niveler les plaines et combler les vallées; par conséquent, les plus grandes profondeurs de la mer doivent être moins considérables que les plus hautes montagnes de la terre.

De Laplace a calculé que la profondeur moyenne de l'Océan n'était qu'une petite fraction de la différence produite par l'aplatissement des pôles entre les deux diamètres de la terre. On a estimé fort contradictoirement cette profondeur à 3,000 et jusqu'à 5,000 mètres. La hauteur moyenne des continents au-dessus des eaux est un peu plus de 3,200 mètres. On peut voir d'après cela que la profondeur moyenne de la mer peut à peine atteindre ce chiffre, et elle doit nécessairement être beaucoup moindre; or, comme les eaux occupent les trois quarts du globe, les continents actuels pourraient être distribués dans le sein de l'Océan, de telle manière que la

surface du globe ne présentât plus qu'une seule masse d'eau; possibilité fort importante, dit M. de Labèche, car elle permet de concevoir à volonté toutes les combinaisons imaginables dans la distribution superficielle des continents et des eaux, et par conséquent de nombreuses variétés dans la vie organique, chacune d'elles appropriée aux diverses situations et aux divers climats dans lesquels elle serait placée.

Buffon arrivait par un autre calcul à une profondeur bien moins grande. Il avait calculé que les fleuves portent à la mer, en 812 ans, une quantité d'eau égale à l'Océan; en sorte que si l'eau qui s'évapore n'y retournait pas, ce dernier serait à sec après ce laps de temps. Il considère l'évaporation diurne comme égale à deux tiers de ligne, ou 21 pouces par an, ou 1421 pieds dans les 812 ans. D'après ce calcul, l'Océan n'aurait qu'une profondeur moyenne de 257 toises. Malheureusement les sondages qui ont été faits ne peuvent résoudre cette curieuse question. Malgré leur grand nombre, beaucoup d'entre eux n'ont présenté que des résultats négatifs, et la sonde n'a pas toujours atteint le fond, quoique, dans certains cas, on lui ait donné d'énormes dimensions.

Le docteur Yung croit que la profondeur moyenne de l'Océan Atlantique est de une lieue environ, et celle de l'Océan Pacifique de

une lieue ou tiers ; mais jusqu'à présent la sonde n'a pu atteindre qu'à une profondeur de deux tiers de lieue.

De toutes les mers, celles de l'Europe sont peut-être les moins profondes. La plus grande profondeur de l'Adriatique, entre la Dalmatie et les bouches du Pô, est de 152 pieds. Considéré sous ce rapport, le bassin de la Méditerranée est très-inégal. Entre Gibraltar et Ceuta, le capitaine Smith a reconnu que sa profondeur est de 5,700 pieds. Saussure dit qu'il est, à Nice, de 2,000 pieds. Dans les parties les plus rétrécies du détroit de Gibraltar, la profondeur varie de 960 à 3,000 pieds. Dans les mers australes, M. Scoresby a descendu la sonde par le 76° latitude nord, 4° longitude ouest, à une profondeur de 7,600 pieds sans rencontrer le fond. Le capitaine Parry, dans les mêmes parages, a interrogé en vain ce prodigieux abîme, sans donner toutefois la même latitude à la sonde ; l'expérience de M. Scoresby demeure donc la plus remarquable qui ait encore été faite dans ce genre.

Ces divers sondages, exécutés dans les régions polaires, prouvent que la mer y est extrêmement profonde, et il paraît qu'aucune île ne sert d'appui aux glaces polaires. Lorsqu'on approche des rivages, l'eau devient de moins en moins profonde, et la plage descend souvent très-lentement dans la mer ; mais si des falaises escarpées bordent les côtes, il règne de suite à leur pied une profondeur considérable, et la même chose a lieu pour les lacs.

Les courants semblent aussi avoir une assez grande influence sur la profondeur des mers, à moins qu'ils ne soient tout à fait superficiels ; dans le cas contraire, ils agissent comme des fleuves qui creusent leur lit sur des pentes plus ou moins rapides.

DE LA TEMPÉRATURE DES MERS.

Bien des mystères sont ensevelis au fond des mers ; mais l'esprit inquiet de l'homme n'y a pas laissé celui de la température de ces profonds abîmes. Malgré l'agitation des flots, qui peut se communiquer à de grandes profondeurs, partout où la sonde a pu pénétrer, elle a été armée d'un thermomètre, et a ramené à la surface la température des lieux où elle avait séjourné.

L'atmosphère, s'appuyant sur la mer et étant douée d'une température qui varie selon la latitude et les saisons, doit nécessairement avoir une grande influence sur la température de la surface de la mer, et c'est en effet ce qui arrive.

Perron, qui s'est beaucoup occupé de cet objet, est arrivé aux conclusions suivantes, qui paraissent dignes de toute confiance :

1° La température de l'Océan est généralement plus froide à midi que celle de l'atmosphère, observée à l'ombre.

2° Elle est constamment plus forte à minuit.

3° Le matin et le soir les deux températures sont ordinairement en équilibre.

4° Le terme moyen d'un nombre donné d'observations comparatives entre la température de la surface des flots et celle de l'atmosphère, répétées quatre fois par jour, à six heures du matin, à midi, à six heures du soir et à minuit, et dans les mêmes parages, est constamment plus fort pour les eaux de la mer, par quelque latitude que les observations soient faites.

5° Le terme moyen de la température des eaux de la mer, à la surface et loin des continents, est donc plus fort que celui de l'atmosphère avec laquelle les eaux sont en contact.

Il est naturel qu'une grande masse d'eau ne puisse suivre avec précision les changements de température qui surviennent dans l'atmosphère ; aussi le *maximum* des températures moyennes de chaque mois ne correspond pas non plus, à la même époque, dans l'Océan et dans l'air. L'accroissement de chaleur des mers éprouve nécessairement un retard, et comme la température de l'air commence à diminuer avant que l'eau ait atteint son *maximum*, il en résulte que l'étendue des variations atmosphériques est plus petite à la surface de la mer que dans l'atmosphère. Nous sommes encore bien éloignés de connaître les lois de ces phénomènes, qui ont une grande influence dans l'économie de la nature.

M. de Humboldt pense que la température de la surface de la mer ne peut, dans aucun lieu, en pleine mer, atteindre $+ 30^{\circ}$ centigrades. C'est du moins ce qui résulte de ses propres expériences, de celles du capitaine Baudin dans la mer des Indes et dans l'Océan Atlantique, de celles de Basil Hall dans la mer de Chine, de celles de John Davy dans la mer de Ceylan, de celles de W. Bayley, de

Churruca, de Quevedo, dans l'Océan Atlantique, et d'un grand nombre d'autres.

M. de Humboldt a fait aussi l'observation importante que l'eau qui recouvre un banc de sable est toujours plus froide qu'en pleine mer; ainsi, dans une traversée de la Corogne au Féroï, le thermomètre centigrade marquait, près d'un banc, $+12^{\circ} 8$ et $13^{\circ} 3$, tandis qu'il se trouvait à 13° ou $16^{\circ} 5$ partout ailleurs où la mer était très-profonde: la température atmosphérique était alors de $12^{\circ} 8$. La différence est d'autant plus grande que le banc est moins abaissé au-dessous de la surface des eaux. Plus un banc de sable est étendu, plus l'eau qui le recouvre est froide; il ne faut en excepter que les hauts-fonds compris entre des caps rapprochés ou situés dans des courants réguliers.

L'abaissement de température est très-sensible à l'approche des terres. Ce phénomène remarquable a été attribué, par H. Davy, au rayonnement et à l'évaporation.

La température des courants est souvent supérieure à celle de la mer qui les environne.

M. de Humboldt a observé, par 40° et 41° de latitude, les eaux du golfe mexicain, qui sont entraînées au nord-est avec une grande force, conservant, sous cette latitude, leur température de $22^{\circ} 5$, tandis que hors du courant la chaleur de l'Océan, à sa surface, était à peine de $17^{\circ} 8$. Sous le parallèle de New-York et d'Oporto, la température du Gulf-Stream égale par conséquent celle que les mers du tropique nous offrent par les 18° de latitude, c'est-à-dire sous le parallèle de Porto-Rico et des îles du Cap-Vert. A l'est du port de Boston, et sur le méridien de Halifax, sous les $41^{\circ} 23'$ de latitude et les 67° de longitude, le courant atteint près de 80 lieues marines de largeur; c'est là qu'il se dirige tout d'un coup à l'est, de manière que son bord occidental, en se recourbant, devient la limite boréale des eaux courantes, et qu'il rase l'extrémité du grand banc de Terre-Neuve, que M. de Volney appelle très-ingénieusement la barre de l'embouchure de cet énorme fleuve marin. Les eaux froides de ce banc qui, selon les expériences de M. de Humboldt, ont une température de $8^{\circ} 7$ à 10° (7° ou 8° R.), offrent un contraste frappant avec les eaux de

la zone torride, poussées au nord par le Gulf-Stream, dont la température est de 21° à $22^{\circ} 8$ (17° à 18° R.). Dans ces parages, la chaleur se trouve répartie dans l'Océan d'une manière étrange: les eaux du banc sont de 9° à 4 plus froides que la mer voisine, et cette mer est de 3° plus froide que le courant. Ces zones ne peuvent se mettre en équilibre de température, parce que chacune d'elles a une source de chaleur ou une cause de refroidissement qui lui est propre, et dont l'influence est permanente.

Depuis le banc de Terre-Neuve, ou depuis les 52 degrés de longitude jusqu'aux îles Açores, le Gulf-Stream continue à se porter vers l'est et l'est-sud-est; les eaux y conservent encore une partie de l'impulsion qu'elles ont reçue près de mille lieues plus loin, dans le détroit de la Floride, entre l'île de Cuba et le bas-fond de la Tortue. Cette distance est le double de la longueur de la rivière des Amazones, depuis Jaën ou le détroit de Manse-riche au Grand-Para. Sur le méridien des îles de Corvo et de Flores, les plus occidentales du groupe des Açores, le courant occupe une étendue de mer de 160 lieues de large.

La température de la mer a été prise aussi à différentes profondeurs, et l'on a obtenu des résultats très-différents, comme on peut s'en convaincre par l'examen des faits suivants que j'emprunte à M. de Labèche:

Le capitaine Kotzebue, à la latitude de $36^{\circ} 9'$ nord, et à la longitude de 148° ouest, a trouvé que l'eau de la surface avait une température de $22^{\circ}, 16$, celle de l'air étant à $22^{\circ}, 77$; — à 25 br., l'eau n'était plus qu'à $13^{\circ}, 94$; — à 100 br., $11^{\circ}, 55$; — et à 30 br., $6^{\circ}, 66$: ce qui montre un décroissement graduel du températeur vers le terme de $3^{\circ}, 88$ à $4^{\circ}, 44$ centigr., ou 39° à 40° Fahrenheit.

A la latitude de $25^{\circ} 3'$ nord, et longitude $181^{\circ} 36'$ ouest, le capitaine Krusenstern a obtenu à la surface, $23^{\circ}, 53$; — à 25 br., $23^{\circ}, 88$; — à 50, $21^{\circ}, 53$; — et $16^{\circ}, 58$ à 125 brasses.

Dans les latitudes au sud des tropiques, le capitaine Kotzebue a observé une température

* HUMBOLDT, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. I, p. 129.

* *Manuel de Géologie*, p. 27.

de $9^{\circ} 72'$ à 55 br., la surface de l'eau étant à $19^{\circ} 44'$, et l'air à 20° ; à la latitude de $30^{\circ} 39'$ sud, le même navigateur a trouvé que la température, à 196 brasses, était à $3^{\circ} 77'$, à la latitude de $44^{\circ} 17'$ sud, et longitude $57^{\circ} 31'$ ouest, l'eau de la surface étant à $12^{\circ} 72'$, et l'air à $14^{\circ} 22'$.

Les résultats suivants font partie de ceux qu'a obtenus le capitaine Beechey, sur les températures, à différentes profondeurs et dans différentes localités. A la latitude de $47^{\circ} 18'$ sud, et longitude $53^{\circ} 30'$ ouest, la surface de l'eau étant à $9^{\circ} 88'$, il a trouvé $7^{\circ} 03'$ à 270 brasses, 5° à 603 brasses, $4^{\circ} 30'$ à 753 brasses, et $4^{\circ} 11'$ à 854 brasses; à la latitude de $53^{\circ} 38'$ sud, longitude $72^{\circ} 10'$ ouest, l'eau de la surface étant à $6^{\circ} 38'$, il obtint $5^{\circ} 83'$ à 100 brasses, $5^{\circ} 83'$ à 250 brasses, $5^{\circ} 83'$ à 350 brasses, et $5^{\circ} 55'$ à 450 brasses.

Dans la mer Pacifique, il trouva, à la latitude de $28^{\circ} 40'$ sud, longitude 96° ouest, $21^{\circ} 66'$ de température à 100 brasses, $11^{\circ} 66'$ à 200 , $9^{\circ} 44'$ à 300 , et $7^{\circ} 22'$ à 400 , l'eau de la surface étant à $25^{\circ} 33'$.

Parmi les observations qu'a faites le même navigateur dans la partie nord de la mer Pacifique, je citerai les suivantes. A la latitude de $61^{\circ} 10'$ nord, longitude $183^{\circ} 28'$ ouest, en juillet 1827, il trouva, à 5 brasses $5^{\circ} 27'$, à 10 brasses $5^{\circ} 33'$, à 20 brasses — $1^{\circ} 39'$ et aussi — $0^{\circ} 85'$ à la même profondeur, probablement par une seconde observation; à 50 brasses — $0^{\circ} 85'$; à 52 brasses — $0^{\circ} 27'$; à 100 brasses — $0^{\circ} 27'$, et à 200 brasses encore — $0^{\circ} 27'$, l'eau de la surface étant à $6^{\circ} 38'$, et l'air à $7^{\circ} 22'$.

Plusieurs observations sur la température de la mer ont été faites à des profondeurs considérables sous les tropiques. Le capitaine Sabine a trouvé à la latitude de $20^{\circ} 30'$ nord, longitude $85^{\circ} 30'$ ouest une température de $7^{\circ} 30'$ à 1000 brasses, l'eau à la surface étant à $28^{\circ} 33'$. Le capitaine Wauchope a obtenu, à la latitude de 10° nord, longitude 23° ouest, une température de $10^{\circ} 33'$ à 966 brasses, l'eau à la surface étant à $26^{\circ} 66'$; et le même observateur a aussi trouvé, à la latitude de $3^{\circ} 20'$ sud, longitude $7^{\circ} 39'$ est, une température de $5^{\circ} 33'$ à 1500 brasses, l'eau de la surface étant à $22^{\circ} 77'$. D'autres observations, faites dans les mers entre les tropiques, à de

moindres profondeurs, montrent le même décroissement de température en allant de la surface dans la profondeur; ainsi le capitaine Kotzebue, à la latitude de $9^{\circ} 21'$ nord, a obtenu 25° à 250 brasses, l'eau de la surface étant à $28^{\circ} 33'$, et l'air à $28^{\circ} 88'$. Sous l'équateur, à la longitude de $177^{\circ} 5'$ ouest, il a trouvé une température de $12^{\circ} 77'$ à une profondeur de 300 brasses, l'eau de la surface étant à $28^{\circ} 08'$, et l'air à $28^{\circ} 33'$.

Toutes ces observations, jointes à plusieurs autres, au nombre de 421 , dont 138 ont donné la température de couches situées à 200 brasses (mille pieds) et plus du niveau des eaux de l'Océan, ont été recueillies par M. d'Urville, et ont formé la base d'un Mémoire fort important sur la distribution de la chaleur dans l'intérieur des mers.

M. d'Urville explique comment il a disposé ces divers résultats sur deux tableaux synoptiques, dont les ordonnées sont d'une part l'échelle des degrés de latitude depuis l'équateur jusqu'au pôle, et de l'autre l'échelle en brasses des diverses profondeurs jusqu'à mille brasses. Sur ces deux tableaux ont été inscrites toutes les températures observées, de sorte qu'on peut à l'instant, pour chaque parallèle, saisir le rapport des températures de la surface avec celles qui ont lieu aux diverses profondeurs.

Arrivant aux conséquences qui semblent découler de toutes les observations faites jusqu'à ce jour, il étoit pouvoir les énoncer toutes dans les propositions suivantes.

Dans l'étendue des mers libres :

1^o La température générale des couches inférieures, à des profondeurs de 600 brasses et plus, est presque constante et très-voisine d'une limite comprise entre 4° et 5° qui paraît être $4^{\circ} 4'$;

2^o Cette température se modifie progressivement à mesure qu'on s'élève vers la surface, pour se rapprocher de la température des eaux superficielles, relative à la saison de l'observation;

3^o Dans la zone la plus rapprochée de l'équateur, c'est-à-dire entre 10° de latitude nord et 10° de latitude sud, une cause particulière semble occasionner dans les couches sous-marines, jusqu'à 100 brasses, un refroidissement plus brusque que celui présumé.

Dans la Méditerranée :

1° La température des couches inférieures, jusqu'à 150 brasses, pourrait encore dépendre de celle des couches supérieures, et c'est d'une manière d'autant plus sensible, que celles-ci ont été plus longtemps échauffées ;

2° Au delà de 150 brasses, les couches inférieures sont soumises à une température constante de 13°, à très-peu de chose près.

Enfin, dans les lacs et dans les grands réservoirs d'eau douce :

1° La température est en général d'autant plus basse qu'on s'éloigne de la surface, et le *maximum* de refroidissement est 4°,4, tant que les couches supérieures conservent une grande chaleur ;

2° Toutefois ce *maximum*, sauf des circonstances purement accidentelles, ne saurait dépasser le *maximum* de refroidissement des eaux superficielles.

Pour expliquer cette distribution de la chaleur dans les grandes masses liquides du globe terrestre, M. d'Urville croit devoir admettre, pour les eaux de la mer, un *maximum* de densité à 4°,4, ou à peu près, comme cela était déjà établi pour l'eau douce. Cette hypothèse seule peut expliquer ce refroidissement successif des eaux profondes de l'Océan vers l'équateur, le réchauffement de ces mêmes eaux vers les pôles, et la température constante des eaux de la Méditerranée aux plus immenses profondeurs.

En outre, M. d'Urville est disposé à croire que dans l'Océan, entre les parallèles de 40° et 60° de chaque hémisphère, les eaux inférieures se dirigeraient alternativement vers l'équateur en hiver, vers les pôles en été, pour remplacer les eaux superficielles enlevées dans la zone torride par la vaporisation,

et dans la zone glaciale par la fonte des glaces¹.

Les courants doivent présenter quelques exceptions à ces règles de distribution de la chaleur dans la mer. Nous avons déjà vu que ces exceptions avaient lieu à la surface, mais tout porte à croire qu'elles se manifestent également à de grandes profondeurs, à cause du mélange continu de leurs eaux. Cependant il est probable que le Gulf-Stream, que M. de Humboldt compare à un immense fleuve au milieu de l'Océan Atlantique, conserve à une grande profondeur, une partie de la chaleur qu'il a acquise sous de basses latitudes.

NATURE ET COMPOSITION DE L'EAU DE LA MER.

L'eau de la mer et celle des grands lacs salés est bien loin d'être pure ; elle renferme plusieurs substances particulières, que l'analyse y trouve facilement.

Généralement elle est incolore vue en petite quantité, transparente, d'une saveur salée, âcre et saumâtre.

Sa pesanteur spécifique moyenne, déterminée par M. Gay-Lussac, est de 1,0286, et le résidu qu'elle produit par une dessiccation parfaite au rouge obscur, est de 003,63².

Plusieurs analyses de l'eau de mer ont été faites par Lavoisier, par Bergmann³, par MM. Bouillou-Lagrange et Vogel⁴.

Voici les deux analyses de Bergmann, et de MM. Bouillou-Lagrange et Vogel.

¹ *Bulletin de la Société de Géographie*, n° 120, p. 221. Avril 1855.

² *Annales de chimie et de physique*, t. VI, p. 428.

³ *Opusculs chimiques*, t. I.

⁴ *Annales de chimie*, t. LXXXVII, p. 190.

EAU DE MER, 1 KILOGRAMME.	BERGMANN.	BERGMANN, LAGRANGE ET VOGEL.	
	ATLANTIQUE.	MANCHE et ATLANTIQUE.	MÉDITERRANÉE.
Acide carbonique.	Grammes. "	Grammes. 0,23	Grammes. 0,11
Chlorure de sodium.	32,155	26,646	26,646
Hydrochlorate de magnésie.	8,771	5,853	7,203
Sulfate de magnésie.	"	6,465	6,991
— de chaux.	1,059	0,150	0,150
Carbonate de chaux et de magnésie. .	"	0,200	0,150
	41,965	39,314	41,140

Depuis lors, l'eau de mer a été analysée par M. John Murray, qui a obtenu les résultats suivants sur l'eau du golfe de Forth, près de Leith en Écosse¹.

EAU DU GOLFE DE FORTH, PRÈS DE LEITH, EN ÉCOSSE.

EAU, 1 KILOGRAMME.	ANALYSE par ÉVAPORATION.	ANALYSE par PRÉCIPITATION.
	Grammes.	Grammes.
Chlorure de sodium.	24,185	24,70
— de magnésium.	5,500	5,15
Sulfate de magnésie.	0,780	2,12
— de soude.	1,667	"
— de chaux.	0,825	0,97
Carbonate de chaux.	0,082	"
— de magnésie.	0,149	"
Sels anhydres.	50,988	50,94

M. Gay-Lussac a remarqué que ce résultat était trop faible, ce qu'il fallait probablement attribuer à ce que la salure du golfe de Leith est diminuée par les rivières qui s'y jettent.

Il est facile de voir au contraire, dans l'analyse précédente de Bergmann, que le résultat en sel marin est trop fort.

Le docteur Marcet a aussi donné une analyse très-soignée de l'eau de mer, recueillie au milieu de l'Océan Atlantique Nord².

¹ *Annales de chimie et de physique*, t. VI, p. 65.

² *Idem.*, t. XII, p. 509.

EAU REcueILLIE AU MILIEU DE L'OcéAN ATLANTIQUE NORD.

EAU, 1 KILOGRAMME.

SELS DÉSSECHÉS.

	Grammes.
Chlorure de sodium.	20,600
— de magnésium.	5,154
— de calcium.	1,352
Sulfate de soude.	4,600
	37,626

	Grammes.
ou chlorure de sodium.	20,60
— hydrochl. de magnésie.	9,91
— " de chaux.	1,95
— sulfate de soude.	4,66
	45,12

Cette analyse se rapproche beaucoup de celle de Bergmann; le sulfate de soude et l'hydrochlorate de chaux se transforment en partie par l'évaporation en sulfate de chaux et en chlorure de sodium.

Mais indépendamment de ces substances, l'eau de mer contient encore de l'hydrochlorate d'ammoniaque, dont M. Marcet lui-même a constaté l'existence, des iodures probablement de sodium, et de magnésium, et un bromure probablement de magnésium¹. Elle doit encore renfermer du bitume, qui lui donne une saveur très-désagréable, ou du moins une matière organique qui n'a pas encore été saisie par l'analyse. L'eau des grands lacs, et surtout celle de la mer Morte, contient une bien plus grande quantité de sels que celle de l'Océan, si toutefois on peut se fier à l'analyse suivante faite par Gmelin².

EAU DE LA MER MORTE.

Chlorure de calcium.	3,2141
Chlorure de magnésium.	11,7754
Bromure de magnésium.	0,4805
Chlorure de sodium.	7,0777
Chlorure de potassium.	1,6738
Chlorure d'aluminium.	0,0896
Chlorure de manganèse.	0,0217
Sel ammoniac.	0,0075
Sulfate de chaux.	0,6527
	24,5396
Eau.	75,4602
	100,0000

On voit qu'elle contient environ 25 p. 100 de matières salines, auxquelles il faut sans doute ajouter aussi un peu d'iodure de magnésium.

En comparant ces analyses, il semblerait

que la salure des eaux varie sur différents points de l'Océan; mais on a un autre moyen plus expéditif de s'en assurer, c'est de ramener par l'expérience et le calcul toutes les eaux à la même température, et de prendre très-exactement leur pesanteur spécifique. C'est précisément ce qu'a fait aussi le docteur Marcet, et voici les résultats auxquels il est parvenu :

	Pesant. sp.
Océan Arctique.	1,02064
Hémisphère nord.	1,02820
Équateur.	1,02829
Hémisphère sud.	1,02882
Mer Jaune.	1,02291
Méditerranée.	1,02950
Mer de Marmara.	1,01915
Mer Noire.	1,01418
Mer Blanche.	1,01901
Baltique.	1,01528
Mer Glaciale.	1,00057
Lac Ourmia.	1,16507
Eau de la mer Morte, à 16 1/4.	1,21225 ³

M. Marcet conclut de ces observations :

1° Que l'Océan méridional contient plus de sel que l'Océan septentrional, dans le rapport de 1,02019 à 1,02757;

2° Que la pesanteur spécifique moyenne de l'eau de mer, près de l'équateur, est égale à 1,02777, ce qui forme un intermédiaire entre celles de l'eau de la mer, dans les hémisphères nord et sud;

3° Qu'il n'y a pas de différence sensible dans la salure de l'eau de mer sous différents méridiens;

4° Qu'aucune preuve suffisante n'établit que la mer soit plus salée à une certaine profondeur qu'à la surface;

5° Que la mer en général contient plus de sel là où elle est la plus profonde et la

¹ *Annales de chimie et de physique*, t. XXXII, p. 357.

² *Idem*, t. XXXV, p. 102.

³ Gmelin, *Annales de chimie et de physique*, t. XXXV, p. 102.

plus éloignée des continents, et que sa salure diminue toujours dans le voisinage des grandes masses de glaces ;

6° Que les petites mers intérieures, quoique communiquant avec l'Océan, sont beaucoup moins salées que lui ;

7° Que cependant la Méditerranée contient plutôt une plus grande proportion de sel que l'Océan.

On peut facilement se rendre raison de la moindre salure de la mer au voisinage des continents, car elle reçoit une quantité d'eau douce si considérable, que leur abondance doit nécessairement influer sur leur pesanteur, ou, ce qui est la même chose, sur leur degré de salure. La proximité des pôles doit produire le même effet, et le mélange des eaux qui proviennent de la fonte des glaces qui les recouvrent, doit aussi diminuer la densité de l'eau dans ces contrées. Cependant M. Marcet trouve l'eau de l'hémisphère méridional plus salée que celle de l'autre moitié du globe, et c'est pourtant au pôle austral que se trouvent les plus grands amas de glace. Peut-être aussi l'eau a-t-elle été puisée en hiver, lorsque les glaces polaires ne donnent que peu d'eau à l'Océan ; d'un autre côté, la majeure partie des terres est dans l'hémisphère nord, et par conséquent les fleuves conduisent bien plus d'eau douce dans cette partie du monde que dans l'autre.

Les Méditerranées qui sont en communication avec de grands fleuves, doivent présenter aussi une moindre salure que l'Océan, puisqu'elles reçoivent plus d'eau que leur surface ne peut en perdre par l'évaporation. Il faut pourtant en excepter la Méditerranée proprement dite et la mer Rouge. On admettait depuis longtemps que cette dernière contenait plus de sel que l'Océan, et ce fait vient d'être mis hors de doute par les observations récentes de MM. Wilkimon et Ure. L'analyse chimique leur a fourni les proportions suivantes : Pesanteur de l'eau puisée à Bérénice (mer Rouge), 1,053. 1,000 grammes de cette eau contiennent 45 grammes de sel, dont 4 de carbonate de chaux avec un peu d'hydrochlorate de magnésie. La pesanteur spécifique de l'eau de l'Océan, puisée sous la même latitude que celle de la mer Runge,

n'est que de 1,028, et une quantité égale ne contient que 53 de sel ¹.

Quant à la Méditerranée, on se rend compte de son excès de salure en se rappelant que deux courants y pénètrent par le détroit de Gibraltar et par la mer Noire, et que c'est un vaste bassin évaporatoire situé au milieu de contrées très-chaudes.

L'égalité de salure des eaux, à des profondeurs diverses, est une question qui semble résolue pour l'Océan, mais qui ne l'est pas pour la Méditerranée. On croit qu'à une grande profondeur cette eau est beaucoup plus salée qu'à la surface, et M. Lyell, qui nie l'existence d'un contre-courant qui ramènerait dans l'Océan, par le détroit de Gibraltar, une portion de l'eau qui entre par la surface, suppose même que cette eau du bassin de la Méditerranée est assez chargée de sel pour qu'il s'en dépose au fond de la mer ². Cette opinion paraît être partagée (pour la non-existence du contre-courant) par le docteur Wollaston ³, qui prend pour base une expérience du capitaine Smith, qui ayant analysé de l'eau puisée à 670 brasses et à 30 milles en dedans du détroit, trouva qu'elle contenait quatre fois autant de sel que l'eau de mer ordinaire.

DE L'ORIGINE DES MATIÈRES SALINES DANS LA MER ET LES LACS SALÉS.

Nous verrons, en étudiant les sources minérales, que la croûte extérieure du globe est percée d'une infinité de fentes par lesquelles s'échappent des sources plus ou moins chaudes et plus ou moins salées. Ces sources apparaissent partout, mais principalement dans les terrains volcaniques. Or, comme les mers couvrent les trois quarts du globe, presque toutes les sources doivent aboutir sous les eaux et rester invisibles pour nous.

Comme la très-grande partie des volcans est située dans des îles ou sur les bords de la mer, c'est un motif de plus pour que ces sources soient plus nombreuses sous l'eau de la mer qu'à la surface des continents, et cela

¹ *Écho du Monde savant*, n° 58.

² *Lyell, Principles of Geology*, vol. I.

³ *Philosophical transactions*, 1829.

indépendamment de quelques phénomènes de pression, qui doivent modifier leur sortie.

Un fait qui vient à l'appui de la salure des mers par le sel qu'y apportent les eaux thermales, est la présence d'une infinité de sources minérales dans le lac Baikal, qui est lui-même salé. Patrin rapporte, comme nous l'avons vu en parlant des lacs, qu'il y observa une très-grande quantité de ces sources qui ne gelaient jamais et formaient des trous arrondis de 10 à 40 pieds de diamètre, sur les bords ou dans l'intérieur du lac, sur la glace dont il était couvert. Il est probable que si les mers ou les amas d'eau salée pouvaient se cougeler, on y observerait également la présence de sources thermales, comme on reconnaît celle de l'acide carbonique dans les lieux couverts d'eau, tandis qu'il est impossible de s'en apercevoir quand ce gaz, sortant du sol, se répand immédiatement dans l'air.

A cette cause de salure pour la mer et les lacs, il faut en joindre une autre, sans doute plus puissante : c'est l'arrivée continuelle de l'eau des fleuves qui, non-seulement y conduisent les matières salines de toutes les sources thermales qui naissent sur les continents, mais encore celles que renferment les sources des divers terrains.

Or, toutes les eaux, même les plus pures, contiennent, comme nous l'avons déjà dit, une petite quantité d'hydrochlorate de soude ou sel marin, ainsi que des traces de quelques autres sels que les cours d'eau conduisent dans l'Océan. Là, le liquide est soumis à l'évaporation ; l'eau pure s'échappe en vapeur, et vient retomber sous la forme de pluie qui balaie de nouveau les continents où elle circule ainsi continuellement, rentrant dans l'Océan toujours chargée de sels, tandis qu'elle en était sortie sensiblement pure.

Voilà donc deux causes de salure qui agissent en même temps, et dont la dernière

l'emporte de beaucoup sur l'autre, quoique tous les sels qui sont dissous et charriés aient probablement la même origine.

La grande quantité de chlorure de sodium (sel marin, hydrochlorate de soude, ou muriate de soude) que renferment les eaux de la mer, nous prouve que ce sel est produit plus abondamment que les autres ; il domine dans toutes les mers, mais il n'en est pas de même pour les lacs. Ainsi, malgré l'étendue du lac Asphaltique ou mer Morte, c'est le chlorure de magnésium qui l'emporte pour la quantité sur tous les autres sels. Dans certains lacs d'Égypte, c'est le natron ou carbonate de soude.

Nous avons déjà vu que la quantité de matières salines variait dans les différentes mers ; mais d'après ce que nous venons de dire, la salure des eaux doit continuellement augmenter, puisque l'eau qui s'échappe des mers, ne peut être enlevée qu'à l'état de vapeur, et qu'elle y retourne toujours chargée de sel. Ainsi, en mettant de côté toute autre cause, les mers doivent se saler de plus en plus. Si maintenant l'évaporation n'est pas en rapport avec le tribut des fleuves et qu'elle le surpasse, la salure augmentera plus vite, comme cela doit avoir lieu dans la mer Rouge et dans la Méditerranée ; si le contraire a lieu, il n'y a pas de raison pour que l'eau puisse se saturer, et le sel sera toujours entraîné par le courant qui s'échappera.

Ces phénomènes doivent surtout être sensibles dans les grands lacs salés, et si l'on avait, par exemple, une analyse ancienne et exacte des eaux de la mer Caspienne, que l'on pût comparer à une analyse moderne, on trouverait probablement une très-grande différence entre les quantités de sel pour les deux époques.

Des analyses comparées des eaux de cette mer avec celles du lac Aral et de la mer Noire jetteraient sans doute un grand jour sur les rapports de ces divers bassins.

CHAPITRE ONZIÈME.

QUELQUES CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LES MERS.

Quand on fait attention aux limites actuelles des mers, qui n'ont pas sensiblement changé depuis les temps historiques, on se demande si la mer diminue ou si elle a toujours été au même niveau. Le témoignage de tous les voyageurs qui ont rapporté des coquilles fossilisées recueillies dans les calcaires marins qui sont adossés à une grande élévation aux roches primitives des Alpes et d'un grand nombre d'autres montagnes, a fait croire longtemps que la mer avait couvert ces montagnes et s'était élevée jusqu'au-dessus de leurs cimes. On pense maintenant qu'il est plus raisonnable d'admettre le soulèvement des montagnes que l'abaissement des eaux, et nous étudierons par la suite les faits sur lesquels reposent cette ingénieuse théorie. Cependant, on ne peut disconvenir que la mer n'ait baissé, ou du moins que ses eaux n'aient diminué, et c'est à leur décomposition que l'on attribue généralement cet abaissement de niveau.

Van Helmont fut le premier qui crut pouvoir expliquer de cette manière la diminution graduelle du niveau de la mer.

Newton pensait aussi que les parties solides de la terre vont en augmentant sans cesse, tandis que les parties fluides diminuent d'un jour à l'autre, et qu'elles disparaîtront enfin totalement de notre globe, comme on pense aujourd'hui qu'elles ont déjà disparu de la lune qui parait un globe tout à fait aride.

Celsius, membre de l'académie de Stockholm; a assuré, en 1745, que la Baltique et l'Océan se retiraient graduellement des côtes de Suède, et plusieurs rochers qu'on sait très-bien avoir été couverts par les eaux de la mer, se trouvent maintenant de plusieurs pieds au-dessus de sa surface : la même ob-

servation fut faite sur les côtes du Chili. Il attribuait cette diminution à la décomposition de l'eau qui s'opère sur la terre, par l'effet de la végétation, qui la convertit en parties solides, et enfin en parties terrcuses, par la putréfaction des végétaux.

Cette opinion de Celsius parait confirmée aujourd'hui par l'expérience; mais il parait prouvé aussi que le prétendu abaissement de la Baltique, qui s'est continué depuis 1745, est dû au soulèvement lent et graduel d'une partie de la Suède.

Buffon, qui croyait aussi à la diminution des eaux, l'attribuait à l'action vitale des testacées et autres animaux marins à enveloppe pierreuse, qui, selon lui, auraient pu changer l'eau de la mer en terre calcaire.

M. Geoffroi St.-Hilaire pense aussi que la majeure partie du calcaire qui existe sur la terre a été formée par les animaux.

Plusieurs auteurs ont publié des observations tendant à constater la diminution de la mer. De Saussure en a fait une remarquable sur les bords de la Méditerranée, entre Monaco et Vintimille. Il a vu d'immenses rochers calcaires coupés à pic au bord de la mer, et dont la surface offrait, jusqu'à la hauteur de plus de 200 pieds au-dessus du niveau actuel des eaux, une multitude d'excavations profondes que cet habile observateur a reconnu pour être l'ouvrage des flots lorsqu'ils étaient plus élevés. Il rapporte ainsi cette curieuse observation :

« Je désirais depuis longtemps de trouver, au bord de la mer, quelque rocher de ce genre sur lequel l'impression des flots eût pu se conserver, au cas qu'anciennement ils l'eussent battu à une hauteur supérieure à celle du niveau actuel; je l'observai donc avec toute l'attention dont je suis capable.

« Le pied de ce rocher, dans l'endroit où passe le chemin (qui n'est qu'un sentier), est élevé d'environ 20 pieds au-dessus de la surface actuelle de la mer.... Là, je vis une caverne ouverte à fleur de terre, du côté de la mer; son entrée avait au moins 25 pieds de hauteur, sur 22 de largeur et sa profondeur était d'environ 100 pieds; la voûte est également exhaussée jusqu'au fond, et ce fond est exactement fermé; on n'y voit point, comme dans beaucoup d'autres cavernes, d'ouvertures par lesquelles les eaux de l'intérieur de la montagne aient pu y entrer et former ensuite la caverne en exécutant le rocher; *pendant la voûte et les parois intérieures sont partout arrondies.*

« On voit encore au-dessus de la caverne, sur la surface du rocher, des cavités du même genre.

« On voit même au-dessus de la caverne, environ à 70 pieds du niveau de la mer, une autre caverne qui se présente directement à la mer, *et dont tous les contours sont si bien arrondis, qu'on ne peut guère douter qu'elle n'ait été creusée par l'action des vagues.*

« A quelques pas de là, on rencontre une seconde caverne semblable à la première.

« Un peu plus loin, on voit au baut du rocher une grande concavité tournée du côté de la mer, dont le diamètre, mesuré dans la partie qui lui correspond en bas, est d'environ 100 pieds, et le haut a la forme d'une voûte où l'on croit voir encore la trace des ondes qui paraissent l'avoir formée.

« Plus loin encore, on rencontre une troisième caverne plus large, mais moins profonde que les deux premières, et *parsemée comme elles d'excavations arrondies.*

« Ensuite une quatrième, fort évasée et peu profonde.

« Puis une cinquième, d'environ 30 pieds de profondeur sur 35 à 40 d'ouverture.

« Je me lassai de les compter; mais j'en vis d'autres encore toutes semblables aux premières, et même jusqu'au haut du rocher, à une élévation de plus de 200 pieds au-dessus du niveau de la mer.

« Comme toutes ces excavations ont par le haut la forme de voûtes solides, qu'elles sont dépourvues de toute ouverture intérieure, et creusées sur toute la surface verticale et

même surplombante d'un roc sain; aussi dur que le marbre, elles ne sauraient être l'ouvrage des eaux pluviales.

« J'examinai avec le plus grand soin si je ne trouverais pas quelque indice qui prouvât que la substance du rocher se fût trouvée plus destructible par places; mais je le trouvai partout également dur et homogène, sans pouvoir y découvrir aucun mélange d'une matière plus tendre.

« Comme le bas de ce rocher forme un petit promontoire saillant dans la mer, je descendis jusqu'au bord pour observer le travail actuel des eaux sur ce même rocher, et j'y trouvai des éavités arrondies, semblables en petit à celles que je venais d'observer au-dessus.»

« Je regarde donc, dit Saussure, ces cavités comme l'ouvrage des eaux de la mer (§ 1382 et 1383). »

Ce fait, si l'on ne trouve pas d'autres moyens de l'expliquer, démontre l'abaissement successif des eaux, puisque ces cavernes ont été creusées par l'action érosive des flots.

Il est une autre considération qui ne peut laisser aucun doute sur la diminution des eaux. Patrin l'a émise le premier dans son histoire naturelle des minéraux.

« Personne n'ignore, dit-il, qu'il existe sur tous les points du globe une infinité de fleuves et de rivières qui roulent continuellement à la mer des atterrissements formés des débris des continents, qui doivent à la longue combler son bassin, comme celui de plusieurs lacs a déjà été comblé en tout ou en partie par une cause semblable. »

On peut se faire une idée de la masse de ces atterrissements, en considérant les bancs énormes de graviers que l'on voit paraître à chaque crue des grandes rivières, et surtout de celles dont le cours est rapide, comme le Rhône, le Rhin, la Loire, etc. On observe des deltas immenses à l'embouchure des grands fleuves de l'Amérique. Ces bancs et ces deltas sont formés par le mouvement progressif des sables et des galets qui sont roulés par les eaux; or, ces galets, qui toujours descendent vers la mer sans jamais rétrograder, finissent par se jeter dans son bassin; il est donc bien évident que s'il ne s'opérait pas une diminution continue dans

la masse des eaux, elles seraient obligées de refluer sur les continents qu'elles envahiraient sans cesse, à mesure que le fond de leur bassin s'élèverait par l'accumulation des galets, des sables, du limon, en un mot de tous les corps étrangers qui ne cessent de s'y précipiter de toutes les parties du monde.

Il paraît qu'à l'époque où nous sommes, il existe une sorte d'équilibre entre le volume des matières que les fleuves charrient dans le sein des mers, et la quantité des eaux qui sont décomposées, et que c'est par cette raison qu'on ne s'aperçoit pas, d'une manière sensible, de cette diminution journalière dans la masse générale des eaux.

Nous ne reviendrons pas ici sur ce que nous avons dit relativement à la séparation de la mer Noire, de la Caspienne et du lac Aral; mais tout porte à croire qu'à la suite des siècles le bassin des mers se desséchera entièrement. Avant d'arriver à cette époque, les continents augmenteront d'étendue; les archipels, qui ne sont que des sommets de grandes chaînes ou des groupes sous-marins, formeront des contrées montagneuses dont les vallées s'ouvriront en golfes ou en baies au milieu des eaux. Les méditerranées deviendront plus nombreuses et finiront par se séparer entièrement des continents; elles se changeront en grands lacs que l'évaporation finira par dessécher.

M. Bory pense que les courants deviendront à la longue de grands fleuves, à mesure que la diminution des eaux étendra les continents, et qu'on pourrait d'avance les tracer sur une mappemonde conjecturale.

Si les mers disparaissaient, la colonne d'air qui arriverait sur leur fond desséché ne serait pas plus haute que celle qui pèse à la surface, parce que cette surface est la base qui porte et sur laquelle repose l'atmosphère, mais les montagnes qui existent actuellement sur les continents, seraient plus froides, précisément comme si elles avaient augmenté en hauteur de la quantité dont la surface de la mer aurait baissé. Par la même raison, si le niveau de la mer a été plus élevé qu'il ne l'est actuellement, les montagnes ont joui d'une plus haute température, et ces grands mouvements séculaires de notre atmosphère doivent avoir eu la plus grande influence sur

la distribution des êtres organisés à la surface de notre planète.

La diminution des eaux de la mer doit avoir des causes diverses, et nous avons déjà dit qu'on l'attribuait assez généralement à l'action vitale des êtres organisés, qui tous absorbent de l'eau et la solidifient en partie. L'évaporation paraît aussi contribuer à diminuer la quantité d'eau de l'Océan, car il n'est nullement prouvé que toute celle qui s'élève en vapeur y retourne. Voici du moins un calcul qui semble s'opposer à ce qu'on admette cette entière restitution.

« Suivant Mariotte, la Seine ne verserait chaque année, dans la mer, que la sixième partie de la quantité d'eau qui tombe sur toute l'étendue de son bassin à l'état de pluie, de neige et de rosée. Les autres cinq sixièmes devraient ou s'évaporer pour former les nuages, ou imbibber les terres superficielles, dans lesquelles les plantes trouvent leur nourriture, ou pénétrer par les fissures des rochers, jusqu'aux réservoirs intérieurs, d'où sortent les fontaines. Le calcul de Mariotte a été refait récemment d'après des données plus exactes, surtout en ce qui concerne le jaugeage de la Seine. En voici les résultats tels qu'il sont consignés dans un excellent travail encore inédit, de M. Dausse, ingénieur des ponts et chaussées. Le bassin de la Seine, que nous terminerons à Paris, puisqu'il sera aisé de jauger les eaux qui passent sous l'un des ponts, a 4,327,000 hectares de superficie. L'eau qui tombe dans ce bassin, si elle ne s'évaporerait pas, si elle ne pénétrait pas dans le sol, si le terrain était partout horizontal, y formerait, au bout de l'année, une couche liquide de 53 centimètres de hauteur. Il est facile de voir qu'une pareille couche se composerait en volume de 22,933 millions de mètres cubes d'eau. Or, au pont de la Révolution, le débit moyen de la Seine est :

De 235 mètres cubes par seconde,

Ou de 22 millions de mètres cubes par jour,

Ou de 8042 millions de mètres cubes par an.

« Ce dernier nombre est à 22,933 millions de mètres cubes, pluie annuelle du bassin de la rivière, comme 100 à 283, ou presque comme 1 à 3. Ainsi, le volume d'eau

qui passe annuellement sous les ponts de Paris n'est guère que le tiers de celui qui tombe en pluie dans le bassin de la Seine. Deux tiers de cette pluie, ou retournent dans l'atmosphère par voie d'évaporation, ou entretiennent la végétation ou la vie des animaux, ou s'écoulent dans la mer par des communications souterraines ¹. »

Si maintenant on admet, avec la plupart des géologues, que le globe, d'abord incandescent, s'est refroidi graduellement, il faudra aussi supposer que les couches solides de la terre, entourant, comme on l'admet généralement, un noyau encore fondu, doivent, à mesure qu'elles se refroidissent, s'inhiber d'eau. Cette eau, autant combinée que simplement interposée, à en juger par la nature des substances minérales et des roches qui nous sont connues, formera au moins un cinquième du volume des couches imbibées; par conséquent, pour une épaisseur de mille mètres ajoutée à la croûte solide du globe, par l'effet du refroidissement progressif, il y aura une quantité d'eau absorbée équivalente à une couche de deux mètres sur la surface entière du globe, et cela formerait une épaisseur plus forte encore sur la partie occupée par les eaux. La terre serait donc destinée à devenir, comme la lune, un corps sec et aride, entièrement privé d'êtres vivants; car l'équilibre que l'on observe depuis quelques mille ans, dans les températures moyennes de la surface, n'est pas absolu et provient seulement de ce que la quantité de chaleur arrivant du centre, compense presque exactement celle qui se perd incessamment par le rayonnement à travers les espaces célestes. On est ainsi conduit à admettre un accroissement dans l'épaisseur de la couche refroidie extérieure, accroissement qu'on pourra peut-être calculer un jour, mais qui doit être très-lent ².

Si, comme tout y invite, on admet la diminution graduelle des eaux sur la terre, il faudra aussi admettre un changement de composition chimique; à mesure que l'eau s'évaporerait, la masse de sel augmenterait nécessairement, et un temps viendrait où ce sel

ne pouvant plus être tenu en solution, cristalliserait au milieu des bassins (comme M. Lyell suppose déjà que la chose a lieu dans la Méditerranée), à moins qu'une cause quelconque ne puisse le détruire, comme le pensait Patrin, attribuant ce pouvoir aux volcans d'Italie. Enfin, il arrivera pour la mer ce que nous voyons arriver à certains lacs salés, qui se dessèchent et laissent à nu, soit des efflorescences de carbonate de soude, soit du sel marin ou du sulfate de magnésie. Nous avons du reste sous les yeux l'exemple de la mer Morte qui contient déjà 25 p. cent de matières salines, et qui peut-être en renferme une quantité beaucoup plus forte à une grande profondeur. Aussi, il n'y aurait rien d'étonnant qu'il se formât, dans certaines mers, des couches de sel gemme comme celles que l'on trouve dans l'intérieur de la terre. Peut-être même se forme-t-il aussi, dans le fond des mers, des couches de carbonate de chaux, qui s'y déposent comme un précipité chimique. Il suffit de se rappeler que beaucoup d'eaux de sources, et surtout celles qui proviennent de sources thermales, renferment du carbonate de soude, et que d'autres contiennent de l'hydrochlorate de chaux. Il doit y avoir double décomposition, et ce phénomène explique à la fois la présence du sel marin dans les eaux, et les grands dépôts de carbonate de chaux dans lesquels l'apparition des coquilles marines indique une formation déposée au milieu des eaux salées.

Si ce phénomène n'est plus produit dans nos mers actuelles, on peut supposer avec assez de vraisemblance qu'il a eu lieu autrefois. Il a dû, dans tous les cas, être considérablement modifié, comme tous les dépôts qui se forment actuellement dans la mer, par l'énorme pression qui existe dans ses profondeurs. Cette pression doit être bien considérable, puisqu'une colonne d'eau de 32 pieds équivaut au poids entier de l'atmosphère; et comme l'eau de la mer est plus dense que l'eau pure, la colonne doit être plus courte, en sorte que dans un grand nombre de lieux, le fond de la mer doit être soumis à une pression qui va de 150 à 200 atmosphères, poids énorme, puisque, si nous supposons un corps d'un décimètre carré, placé

¹ *Annuaire du bureau des longitudes*, 1835.

² *Écho du Monde savant*, 14 février 1836.

seulement à mille mètres de profondeur, il sera comprimé par un poids de dix mille kilogrammes. Que l'on juge de la différence des effets qui peuvent être produits sous une telle pression, et qu'on les compare à ceux que nous présentent tous les jours nos cours d'eau, lorsqu'ils forment des alluvions recouvertes de quelques pieds de liquide. L'eau elle-même, quoique chaque atmosphère ne puisse la comprimer que de 31,5 millièmes de son volume, doit être sensiblement plus dense à de grandes profondeurs.

La lumière solaire devient insensible à 300 mètres de profondeur, et celle de la lune, dans les circonstances les plus favorables, ne descend pas au delà de 40 pieds ¹.

Aucun être organisé ne vit dans ces ténébreux abîmes. Les coquillages se trouvent presque tous au-dessus d'une profondeur de 20 mètres. Quelques-uns, comme les *térébratules*, si rares maintenant et si répandus à l'état fossile dans les anciens dépôts de la mer, s'enfoncent encore aujourd'hui jusqu'à 160 à 180 mètres. Le corail, capable de supporter une grande pression, n'atteint jamais 200, et une seule plante marine se pare encore de vives couleurs à 303 mètres au-dessous du niveau de l'Océan; elle forme le dernier degré de cette grande échelle verticale, sur laquelle les êtres organisés sont distribués d'une manière si singulière et si mystérieuse pour nous.

CHAPITRE DOUZIÈME.

DE LA PHYSIONOMIE DES EAUX.

Sous ce titre, nous allons essayer de décrire certains caractères que nous offre l'eau réunie en masses plus ou moins étendues, et que nous n'aurions pu intercaler dans les chapitres précédents. C'est principalement la surface du liquide que nous voulons étudier, et nous sommes certains que tous ceux qui ont observé la nature avec soin, reconnaîtront de suite ces apparences variées que présentent surtout les mers et les grands lacs.

Il est bien rare que la surface de l'eau soit parfaitement calme; c'est pourtant ce qui arrive quelquefois sur la mer, et alors le liquide s'étend comme une vaste nappe plane. Plus rarement un tel calme se fait remarquer sur les lacs.

¹ M. X. de Maistre a fait des expériences pour reconnaître à quelle profondeur pénétrèrent les rayons de la lune dans la mer. A cet effet, l'astre étant au méridien, à une hauteur de 28 degrés, il faisait descendre dans la mer une plaque de fer carrée de 14 pouces de côté, peinte en blanc avec de la cé-

La surface des grands amas d'eau supportant l'atmosphère, et étant douée d'une grande mobilité, il en résulte que le plus petit dérangement dans l'air se ressent également sur l'eau, et presque au même instant. Si le vent est faible, il en résulte des ondes qui suivent l'impulsion qui leur est communiquée, qui se succèdent avec une rapidité plus ou moins grande, et se propagent en s'affaiblissant toujours à mesure qu'elles s'éloignent du point où elles ont pris naissance. Les lacs présentent presque toujours des ondes.

Si le vent augmente en suivant une direction constante, les ondes deviennent aussi plus fortes, et forment des lignes très-éten-

due, et la tête ombragée par un parapluie qui le mettait à l'abri de la lumière directe de la lune, il suivait des yeux la plaque aussi longtemps qu'il le pouvait, et faisait mesurer la profondeur aussitôt qu'il la perdait de vue. Cette profondeur a toujours été d'environ 40 pieds. (*Institut*, 3^e année, p. 170.)

dues et presque droites, qui s'avancent avec la même vitesse sur tous les points; on les désigne alors sous le nom de *lames*. Si une de ces lames atteint le rivage, elle se brise avec écumé contre les falaises, on semble rouler sur elle-même, et s'étendre en s'aminçant, si elle rencontre une plage douce et unie.

Les *flots* et les *vagues* sont produits par des vents plus forts, et qui souvent changent de direction, on soufflent de plusieurs points à la fois. Alors les lames n'existent plus, elles sont brisées, et l'eau s'élevant en montagnes écumantes, s'affaisse et remonte à chaque instant, formant ainsi des collines et des vallées mobiles qui se détruisent et reparaissent tour à tour. Quelquefois deux vagues viennent se heurter et se confondre, et la limite forme à leur sommet une ligne d'écume que de nouveaux flots viennent briser et désunir. Ces vagues atteignent dans la tempête une grande élévation, surtout si elles rencontrent quelque obstacle contre lequel elles s'élèvent avec une grande vitesse. Les vaisseaux situés en pleine mer montent tout à coup sur la crête des vagues, et redescendent bientôt dans de profondes vallées mobiles et changeantes comme les pentes sur lesquelles ils viennent de glisser; ils sont balancés dans tous les sens, et c'est ce mouvement d'oscillation, dont on ne peut prévoir ni l'étendue ni la direction, qui fatigue le plus les personnes qui n'ont pas l'habitude des voyages de long cours. Les lacs sont comme les mers, soumis à la violence des vents, et présentent des phénomènes analogues.

Cette violente agitation des flots cesse si la pluie survient, et dans les mers polaires, quand le froid atteint la surface de l'eau, ou lorsqu'une couche de neige vient à s'y déposer, le mouvement diminue et le calme se rétablit.

Les mouvements excités dans les eaux de la mer, par les plus violentes tempêtes, ne s'étendent pas à une profondeur qui excède quinze ou vingt toises; mais les mouvements généraux de l'Océan, dont le principe réside dans l'attraction des corps célestes, et qui produisent le flux et le reflux, se communiquent à la masse entière des eaux, jusque dans les plus profonds abîmes de la mer du Sud.

Les vagues produites par les marées avancent ordinairement lentement et se retirent de même quand les vents ou la forme des côtes ne viennent pas gêner leurs mouvements. La configuration du sol a surtout une grande influence sur leur vitesse.

C'est ce que l'on peut observer dans la baie de Cancale, près du Mont-Saint-Michel. On peut, à la marée basse, passer à pied sec pour aller de la côte à l'église; mais si l'on était pris par le flot, la course la plus rapide ne pourrait vous y soustraire, et l'on serait infailliblement submergé. Un effet semblable, mais dû aux vents, a lieu dans la mer Rouge, à Suez.

Sur la côte d'Or, la vague est tellement furieuse qu'on ne peut rien y débarquer que dans des futailles; on les jette à la mer près de la barre, et le flot les pousse à terre.

Indépendamment de ces mouvements, il en est d'autres qui semblent plus difficiles à expliquer, parce qu'ils sont indépendants des vents et des marées. Tantôt ils se manifestent sous forme de simples rides à la surface des lacs ou de la mer, et l'on est tout surpris de voir une partie d'un lac couverte de rides nombreuses, tandis que le reste n'est nullement agité. On aperçoit sur la mer un espace circonscrit, qui présente le même phénomène, tandis que les parties environnantes sont dans un calme plat. Ces mouvements indiquent dans le niveau de l'eau des inégalités qui vont quelquefois jusqu'à produire de petits courants à la surface. Ce fait curieux n'a pas échappé à M. de Humboldt, auquel toutes les sciences sont redevables de si précieuses observations. Il le remarqua pendant sa traversée en Amérique :

« Lorsque la mer est parfaitement calme, » il paraît à sa surface des bandes étroites, » semblables à de petits ruisseaux, et dans » lesquelles les eaux coulent avec un bruit » très-sensible pour l'oreille d'un pilote expérimenté. Le 13 juin, par les 34° 36' de » latitude boréale, nous nous trouvâmes au » milieu d'un grand nombre de ces lits de » courants. Nous pûmes en relever la direction avec la boussole. Les uns portaient » au nord-est, d'autres à l'est-nord-est, quoi- » que le mouvement général de l'Océan, in-

» diqué par la comparaison de l'estime et de
 » la longitude chronométrique, continuât à
 » être au sud-est. Il est très-commun de
 » voir une masse d'eaux immobiles traversée
 » par des filets d'eaux qui coulent dans diffé-
 » rentes directions. On peut observer ce phé-
 » nomène journellement à la surface de nos
 » lacs; mais il est plus rare de trouver des
 » mouvements partiels imprimés par des cau-
 » ses locales, à de petites portions d'eau, au
 » milieu d'une rivière pélagique qui occupe
 » un espace immense, et qui se meut dans
 » une direction constante, quoique avec une
 » vitesse peu considérable. Dans le conflit
 » des courants, comme dans l'oscillation des
 » vagues, notre imagination est frappée de
 » ces mouvements qui semblent se pénétrer,
 » et dont l'Océan est sans cesse agité¹. »

Une différence dans la température et dans la salure des eaux peut, jusqu'à un certain point, permettre d'expliquer la présence de ces petits courants dans la mer et les lacs salés. Peut-être une de ces causes agit-elle aussi sur les amas d'eau douce; mais on doit attribuer en partie ces phénomènes à la pression inégale exercée sur une masse mobile par des colonnes d'air de pesanteur différente, explication donnée par M. Vaucher, de Genève, et dont nous avons déjà parlé en nous occupant des *seiches*.

DE LA COULEUR DES EAUX.

Toutes les personnes qui ont vu de grandes masses d'eau savent que ce liquide présente toujours une teinte particulière qu'il ne conserve plus lorsqu'on le puise dans un vase, quelle que soit sa capacité; et il est très-remarquable que plusieurs sortes de ces eaux colorées soient ordinairement très-pures.

Il est bien rare que l'eau de source se présente en assez grande masse pour qu'on puisse distinguer sa couleur; cependant on remarque une tendance à la coloration dans toutes les eaux thermales. Celles de Porla, en Suède, sont jaunâtres; celles de Vichy, à la source de l'hôpital, sont vertes; celles de Jau-de, à Clermont-Ferrand, sont blanchâtres

et légèrement opaques. Dans tous ces cas, la couleur est due à des matières organiques qui sortent de l'intérieur du globe.

Les ruisseaux eux-mêmes présentent des teintes variées. Ils sont noirs dans les montagnes, gris ou verdâtres dans les plaines.

Les rivières offrent, dans leurs couleurs, des différences bien singulières. On voit en Suisse des eaux grises, quoique parfaitement transparentes, et d'autres qui sont vertes, quoique souvent très-rapprochées. On assure même qu'à l'époque de la fonte des neiges, les eaux, d'abord d'un vert d'émeraude, prennent, en s'éloignant, une teinte de vert-pré, tandis que le Rhône, en sortant du lac de Genève, offre la teinte foncée de l'indigo.

C'est surtout en Amérique que l'on trouve une différence bien marquée entre l'eau de plusieurs rivières. M. de Humboldt a recueilli sur cet objet des renseignements très-importants qui sont consignés dans son *Voyage aux régions équinoxiales*.

« A l'embouchure du Rio-Zama, nous
 » entrâmes, dit le célèbre voyageur, dans un
 » système de rivières, qui mérite beaucoup
 » d'attention. Le Zama, le Mataveni, l'Ata-
 » bapo, le Tuamini, le Temi, le Guania, ont
 » des *aguas negras*, c'est-à-dire que leurs
 » eaux, vus en grandes masses, paraissent
 » brunes comme du café ou d'un noir ver-
 » dâtre. Ce sont cependant les eaux les plus
 » belles, les plus claires et les plus agréables
 » au goût¹.

» Lorsqu'un petit souffle de vent agite la
 » surface de ces rivières noires, elles paraissent
 » d'un beau vert-pré, tandis que dans
 » l'ombre, le Zama, l'Atabapo et le Guania
 » sont entièrement noirs.

» Dans ce vaste système de rivières que
 » nous avons parcourues (et ce fait paraît
 » assez frappant), les eaux noires sont prin-
 » cipalement restreintes à la bande équato-
 » riale. On commence à les trouver vers les
 » 3° de latitude nord. Elles abondent jusqu'au
 » delà de l'équateur, vers les 2° de latitude
 » australe. L'embouchure du Rio-Negro se
 » trouve même par les 3° 9' de latitude;
 » mais, dans cet intervalle, les eaux noires

¹ HUMBOLDT, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. I, p. 155.

¹ HUMBOLDT, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. VII, p. 229 et suiv.

» et blanches sont si extraordinairement
 » mêlées dans les forêts et les savanes, que
 » l'on ne sait à quelle cause on doit attribuer
 » la coloration des eaux. Le Cassiquiare, qui
 » se jette dans le Rio-Negro, a les eaux blan-
 » ches comme l'Orénoque dont il sort. De
 » deux affluents du Cassiquiare, qui sont
 » très-rapprochés, le Siapa et le Pacimony,
 » l'un est blanc et l'autre est noir.

» Ce qui prouve l'extrême pureté des eaux
 » noires, c'est leur limpidité, leur transpa-
 » rence et la netteté avec laquelle elles réflé-
 » chissent l'image et les teintes des objets
 » environnants. Les plus petits poissons s'y
 » distinguent à une profondeur de 20 à 50
 » pieds : le plus souvent on reconnaît le fond
 » de la rivière. Ce n'est point une vase jau-
 » nâtre ou brunâtre comme les eaux, c'est un
 » sable quartzéux et granitique d'une blan-
 » cheur éblouissante ».

» Le manque de crocodiles et de poissons,
 » une fraîcheur plus grande, un moindre
 » nombre de moustiques piquantes, et un air
 » salubre distinguent la région des rivières
 » noires. Elles doivent probablement leur
 » couleur à une dissolution de carbure d'hydro-
 » gène, à l'abondance de la végétation et à la
 » multitude de plantes dont est couvert le sol
 » qu'elles traversent ».

» Le peuple prétend, en outre, que ces
 » eaux ne brunissent point les rochers, et que
 » les rivières blanches ont les bords noirs,
 » tandis que les rivières noires ont les bords
 » blancs. En effet, les plages de la Gnaïnia,
 » que les Européens connaissent sous le nom
 » de Rio-Negro, offrent fréquemment des
 » masses de quartz sortant du granit et d'une
 » blancheur éclatante. »

L'eau des lacs offre, comme celle des
 rivières, des différences très-notables pour la
 couleur; ainsi, ceux qui ont parcouru la
 Suisse ont pu remarquer que chacun de ses
 lacs a une physionomie particulière. Ils of-
 frent une foule de nuances entre le vert, le
 bleu et le noir. Plusieurs lacs de la Savoie et
 du Pérou ont des teintes brunâtres, presque
 noires. Les petits amas d'eau qui se rassem-

blent sur les glaciers des hautes montagnes
 présentent aussi, malgré leur peu de profon-
 deur, des teintes pures, qui rappellent le
 bleu et quelquefois le jaune ou le vert.

L'eau de l'Océan est, comme on sait, aussi
 transparente et aussi dépourvue de couleur
 que celle des sources les plus pures; mais
 vue en grande masse, elle offre toujours une
 teinte assez prononcée, et qui varie dans
 différents parages. On en a observé de rou-
 geâtre sur les côtes de Californie, à l'embou-
 chure du Rio-de-la-Plata; de jaunâtre autour
 des Maldives et dans le Pont-Euxin, entre la
 Chine et le Japon; de blanchâtre dans le
 golfe de Guinée; mais ces différentes teintes
 ne sont réellement que des exceptions. La
 couleur ordinaire de la mer est un vert par-
 ticulier, quelquefois très-intense, au point
 que, de loin, des personnes qui n'ont jamais
 vu l'Océan le prennent pour une vaste prairie.
 Cette teinte verte est surtout remarquable
 vers les côtes, dans tous les lieux où les eaux
 ont peu de profondeur. A mesure que l'on
 avance en pleine mer, le vert se change en
 bleu, et devient d'un azur vif quand on est
 tout à fait éloigné des côtes.

Le bleu est donc la couleur naturelle de
 l'eau, comme il est celle de l'air. Partout où
 le bleu se montre, la lumière, absorbée dans
 la masse liquide, n'atteint pas le fond, et les
 seuls rayons bleus éprouvent une forte ré-
 flexion. Mais quand la mer est peu profonde,
 la couleur est modifiée par celle de la lumière
 que le fond renvoie. Ainsi, selon M. Scoresby,
 un fond de sable fin et brun dans une mer
 peu profonde, donne à cette mer une teinte
 gris-verdâtre ou vert-pomme, d'autant plus
 foncée, que le fond réfléchit moins de rayons.
 Là où le sable est jaune, l'eau paraît d'un
 vert sombre; si le sable est obscur, la teinte
 de la mer le sera également. Le sable bien
 broyé, ou la vase, donnent à la mer une
 couleur grisâtre. Ces effets ont été probable-
 ment la cause des dénominations de mer
Blanche, mer *Rouge*, mer *Noire*, etc.,
 appliquées et usitées de temps immémorial.
 Près de l'embouchure des grandes
 rivières, la mer a souvent une teinte brune
 provenant de la vase et des autres substances
 terreuses qui sont tenues en suspension con-
 currentement avec des couleurs végétales ou

HUMBOLDT, *Voyage aux régions équinoxiales*,
 t. VII, p. 267.

* Idem, *Tableaux de la Nature*, t. I, p. 228.

animales amenées de terre par les eaux du fleuve ; mais en pleine mer et loin des bas-fonds, les couleurs ordinaires des eaux sont le bleu pur et le bleu verdâtre. Pour éviter les illusions en déterminant les couleurs de la mer, M. Scoresby recommande de regarder l'eau à travers un long tube qui en atteigne presque la surface¹. D'après cet excellent observateur, les eaux des mers polaires offrent des teintes variables depuis le bleu intense jusqu'au vert-olive. Certains jours, elles sont d'une grande transparence, et quelquefois au contraire d'une opacité frappante. Ces changements ne dépendent pas de l'état de l'air, mais seulement des quantités d'eau. Hudson, en 1607, avait déjà remarqué ces variations de couleur dans les eaux de ces mers. Suivant lui, l'eau est bleue près des glaces, et verte dans les parties libres ; mais il s'en faut bien que cette règle soit générale. Les eaux vertes se rencontrent fréquemment vers le 74° et le 80° degré de latitude nord, et occupent peut-être un quart de l'étendue que les pêcheurs appellent *The Greenland sea*. Des eaux vertes d'un genre tout particulier sont quelquefois entraînées par les courants et changent de place ; mais sur divers points, elles se renouvellent chaque année. Souvent ces eaux sont réunies en longues bandes, dirigées du nord au sud ou du nord-est au sud-est, mais avec des dimensions très-variables. M. Scoresby a vu de ces bandes qui, sur une longueur de deux ou trois degrés en latitude, avaient, en largeur, sur quelques points, un très-petit nombre de milles ; dans d'autres, jusqu'à dix ou quinze lieues. C'est ordinairement vers le prolongement du méridien de Londres que ces bandes vertes existent. En 1817, dans l'espace compris entre 74° et 75° de latitude nord, la mer était bleue et transparente depuis 12° jusqu'à 0,12° de longitude est ; au delà l'eau acquérait une légère opacité, et sa couleur devenait vert-pré un peu sombre. Quelquefois le passage du bleu au vert se fait progressivement, et toutes les nuances comprises entre ces deux couleurs

se présentent dans l'espace de trois ou quatre lieues. Dans d'autres circonstances, au contraire, la transition est si brusque, que la ligne de séparation du bleu et du vert s'offre aux yeux aussi nettement que les limites d'un courant. Les deux qualités d'eau demeurent alors parfaitement distinctes, comme le sont les eaux d'une large rivière chargée de limon et celles de la mer, à peu de distance de l'embouchure. En 1817, M. Scoresby rencontra des espaces si étroits que, dans le court intervalle de dix minutes, son bâtiment se trouvait successivement sur des bandes vert-pâle, vert-olive et bleu-diaphane.

Les baleines se trouvent principalement dans les eaux vertes où elles trouvent leur aliment. M. Scoresby, en examinant attentivement ces eaux, découvrit qu'elles renfermaient un grand nombre d'animaux demi-transparents du genre méduse, dont la teinte jaune, unie à la couleur bleue des eaux, devait nécessairement donner un aspect vert au liquide qui les contenait. En examinant les diverses espèces d'eau de mer, il trouva que ces animaux, qui probablement servent de nourriture aux baleines, existaient en grande abondance dans l'eau vert-olive, et en bien moindre quantité dans l'eau d'une teinte bleu-verdâtre. La distance entre deux méduses, dans l'eau vert-olive, était d'un quart de pouce environ ; d'après cela, un pouce cube de liquide en contiendrait 64, un pied cube 110,592, une brassée cube 25,887,872, et un mille cube environ 25,888,000 centaines de millions. Les eaux bleues ne renferment qu'une très-petite quantité de ces animaux, et sont si diaphanes que l'on a aperçu quelquefois le fond de la mer jusqu'à 80 brasses de profondeur. Leur belle couleur d'azur est due, selon toute apparence, aux mêmes causes qui rendent le ciel bleu, et qui communiquent une teinte presque semblable aux lacs profonds de la Suisse.

On ne peut nier pourtant que la couleur des eaux ne soit due souvent à des êtres organisés. Ainsi, M. Ehrenberg, dans son voyage de 1823, reconnut que la mer Rouge était réellement rougie en certains endroits par une espèce particulière d'*oscillaria*. Hasenfratz retrouva la même couleur, due à une

¹ La majeure partie de ce que nous rapportons sur la couleur de la mer est extraite du rapport verbal de M. Arago sur l'ouvrage de M. Scoresby. *Annales de chimie et de phys.*, t. XVIII, p. 22.

cause analogue, dans plusieurs lacs de l'Égypte¹. Les courants, qu'il serait quelquefois très-difficile de distinguer en pleine mer, se reconnaissent souvent à la teinte particulière de leurs eaux qui, étant d'un bleu intense, indique leur plus grande profondeur. La ligne qui les sépare des eaux stagnantes est parfois très-sensible et très-distincte.

DE LA PHOSPHORESCENCE DES EAUX.

Un phénomène des plus singuliers et des plus admirables est celui que nous présente la surface des eaux quand elle semble s'illuminer tout à coup sur une vaste étendue. C'est principalement dans les contrées chaudes du globe que ce spectacle apparaît dans toute sa magnificence, quoique cependant, sous toutes les zones, même près des glaces polaires, la mer soit phosphorescente.

C'est surtout dans la mer des Indes, qu'il se manifeste de la manière la plus frappante, notamment sur les côtes de Malabar, des Maldives et des autres îles voisines. On prétend même que, dans certains temps de l'année, la mer y paraît totalement lumineuse.

On ne peut se lasser d'admirer la beauté de ce spectacle, qui cependant se renouvelle tous les soirs. Il se produit principalement dans les temps calmes, lorsque la mer est couverte de rides ou d'ondes légères, car le mouvement semble nécessaire à l'émission de cette lueur phosphorique. Tous les navigateurs l'ont remarqué, et tous en ont fait mention comme d'une chose qui les a vivement frappés.

Patrin rapporte qu'il a souvent observé cette phosphorescence, dans sa traversée de Saint-Petersbourg en France.

« J'avais presque tous les soirs, pendant trois semaines, le spectacle d'une mer lumineuse. Pour observer de plus près ce phénomène, je me tenais à la proue du bâtiment qui, par la force du vent, plongeait presque dans la lainer, de sorte que souvent je me trouvais au niveau des ondes, et je voyais distinctement une foule de globules de la grosseur d'un pois ou même d'une balle de pistolet, qui s'échap-

paient de l'écume bouillonnante, et roulaient avec célérité sur la surface des flots, comme des gouttes d'eau roulent sur un corps gras ou couvert de poussière. J'ai plusieurs fois attrapé plusieurs de ces globules avec une grande cuillère, et je les ai observés avec une forte loupe; mais je n'ai jamais aperçu qu'une matière onctueuse, qui devenait phosphorique quand je la frottais entre mes doigts dans l'obscurité. »

« Celui qui n'a point été témoin de ce phénomène dans la zone torride, et surtout sur le grand Océan, ne peut, dit M. de Humboldt, se faire qu'une idée imparfaite de la majesté d'un si grand spectacle. Quand un vaisseau de guerre, poussé par un vent frais, fend les flots écumeux, et qu'on se tient près des haubans, on ne peut se rassasier du coup d'œil que présente le choc des vagues. Chaque fois que, dans le mouvement du roulier, le flanc du vaisseau sort de l'eau, des flammes rougeâtres, semblables à des éclairs, paraissent sortir de la quille et s'élancer vers la surface de la mer. »

Ce savant ajoute qu'en se baignant le soir dans le golfe de Curiaço, près de Cumana, quelques parties de son corps restaient lumineuses, comme si des corps phosphoriques s'y étaient attachés².

MM. Quoy et Gaymard, qui ont publié un mémoire très-intéressant sur cet objet, ont observé très-fréquemment cette illumination des eaux. A peine le jour a-t-il disparu que la scène commence, et des millions de corps lumineux semblent rouler au milieu des flots. L'intensité de lumière augmente sur la crête des vagues, sur les flancs du vaisseau ou des rochers, contre lesquels la lame vient se briser; chaque coup de rame fait jaillir des jets de lumière, et le navire qui fuit, laisse au loin derrière lui un long sillon de feu, dont l'intensité s'affaiblit à mesure qu'il s'éloigne.

MM. Becquereel et Brechet ont aussi observé avec soin cette phosphorescence sur la Brenta, rivière qui vient se jeter dans la mer près de Venise, et dont les eaux, à quelques milles de cette ville, jouissent de la propriété, dans les grandes chaleurs et quand elles sont

¹ Lettre à Gillet de Lamont, *Journal des Mines*, t. XVII, p. 241.

² *Tableaux de la nature*, t. I, p. 82.

ébranlées par le plus léger choc, de devenir fortement luminescentes. L'effet peut être comparé, sans exagération, à celui que produit un bol de punch enflammé que l'on agite avec une spatule. Le corps le plus léger que l'on jette dans l'eau suffit pour faire naître la lumière, non-seulement dans le point frappé, mais encore dans toutes les ondes provenant de l'ébranlement du liquide. Il en résulte que dans l'obscurité la plus profonde, on peut suivre de très-loin toutes les ondes liquides. Cette faculté lumineuse diminue à mesure que l'on approche du bras de mer qui sépare Venise de l'embouchure de la Brenta, et il arrive un point où elle n'est plus sensible ¹.

On attribue en général la *lumière des mers* à la présence d'une infinité de petits animaux lumineux qui se meuvent rapidement à la surface des flots; mais il est probable que les matières organiques, à demi altérées, qui doivent exister en abondance dans la mer, et qui viennent flotter à la surface, sont aussi une des causes principales de ces singuliers effets. Les animaux marins ont tous une tendance à devenir phosphoriques quand ils sont morts; les poissons le deviennent bientôt après qu'ils ont cessé de vivre, et cette matière phosphorescente en dissolution dans l'eau, peut certainement lui communiquer ses propriétés.

MM. Quoy et Gaymard ont observé des faits qui peuvent appuyer ces deux suppositions. Étant mouillés dans la petite île de Rawak, placée sous l'équateur, ils virent un soir, sur l'eau, des lignes d'une blancheur éclatante; en les traversant avec leurs canots, ils voulurent en enlever une partie, mais ils ne trouvèrent qu'un fluide dont la lueur disparut entre leurs doigts. Peu de temps après, pendant la nuit, et la mer étant calme, ils

virent près du vaisseau beaucoup de zones semblables, blanches et fixes. Les ayant examinées avec soin, ils reconnurent qu'elles étaient produites par des zoophytes d'une petitesse extrême, et qui renfermaient en eux un principe de phosphorescence si subtil et tellement susceptible d'expansion, qu'en nageant avec vitesse et en zig-zag, ils laissaient sur la mer de longues traînées lumineuses. Ils mirent le fait hors de doute, en plaçant dans un bocal rempli d'eau deux de ces animalcules, qui rendirent immédiatement toute l'eau lumineuse. Ils ont constaté en outre que la chaleur est une des causes déterminantes de la faculté lumineuse de ces petits animalcules, comme elle l'est en été, dans nos climats, pour les lampyrea ou vers luisants de nos buissons ².

M. Becquerel pense aussi qu'indépendamment de la présence des corps vivants, la phosphorescence de la mer peut être due à une matière organique, entièrement combinée ou mélangée avec l'eau, analogue à celle qui recouvre les harengs et autres poissons de mer, quand ils sont phosphoriques. Ses observations sur les eaux de la Brenta le prouvent suffisamment; car il n'y a qu'une matière intimement combinée ou mélangée avec elles qui puisse produire un semblable effet, puisque toutes les parties de l'eau, sans exception, possèdent la faculté lumineuse. Ce savant croit que les matières organiques qui se trouvent dans l'eau stagnante de la rivière, sont dans un état particulier de décomposition à la suite de la chaleur du jour, qui leur donne la faculté lumineuse ³. La vase des marais, toujours riche en matières à demi décomposées, est aussi quelquefois phosphorescente.

¹ BECQUEREL, *Traité de l'électricité et du magnétisme*, t. IV, p. 76.

² QUOY et GAYMARD, *Annales des Sciences naturelles*, t. IV, p. 12.

³ BECQUEREL, *Traité de l'électricité et du magnétisme*, t. IV, p. 76.

I

CHAPITRE TREIZIÈME.

DE L'EAU A L'ÉTAT SOLIDE.

On sait que la plupart des corps solides se liquéfient par la chaleur, et peuvent cristalliser en refroidissant. L'eau obéit à cette règle; mais comme sur notre planète la température est le plus souvent assez élevée pour maintenir l'eau sous forme liquide, il en résulte que c'est son état habituel, et nous considérons comme placée sous des conditions exceptionnelles celle que la soustraction de la chaleur a fait passer à l'état de glace. Il existe très-probablement des planètes dont tous les points sont doués d'une température trop élevée pour que ce liquide puisse jamais se solidifier. Il en est d'autres aussi à la surface desquelles l'eau liquide doit être inconnue; mais sur la terre, à l'époque actuelle de son existence, il y a passage presque continu d'un état à l'autre, et nous verrons plus loin, en étudiant la température propre de notre globe, que toutes les apparences se réunissent pour nous prouver que l'eau solide n'a pas toujours existé, quoiqu'elle ait maintenant eu aux deux extrémités de la terre.

On peut d'après cela diviser les glaces en deux séries, *permanentes* et *accidentelles*.

Nous allons d'abord nous occuper des dernières, et nous distinguerons parmi les autres celles qui forment les glaciers des montagnes et ceux des pôles.

DES GLACES ACCIDENTELLES ET DE LA CRISTALLISATION DE L'EAU.

Comme la température intérieure du sol est toujours au-dessus de 0 du thermomètre, l'eau des sources ne gèle pas. Elle conserve au contraire une certaine chaleur qui bientôt rayonne dans l'atmosphère et la met en équilibre avec elle; mais l'eau stagnante, exposée à la gelée, c'est-à-dire à une température qui est au-dessous de 0, ne tarde pas à cristalliser.

On voit d'abord des aiguilles allongées qui

partent des bords et qui s'avancent vers le milieu. Il est rare que ces aiguilles se rencontrent; elles s'arrêtent dans leur croissance avant de se toucher. De nouvelles aiguilles prennent naissance sur les premières, et forment avec elles des angles qui sont presque toujours de 60 ou de 120 degrés. D'autres aiguilles naissent encore sur ces dernières, et enfin la surface de l'eau est couverte d'une pellicule glacée, d'une transparence extrême, qui n'est cependant pas entièrement solide, car les parties dont elle est formée ne tiennent entre elles que par leurs bases; toutes les extrémités sont libres et séparées par une légère couche d'eau.

Bientôt les mêmes phénomènes se reproduisent en dessous de cette première couche, et comme les nouveaux cristaux, quoique immédiatement appliqués sous les autres, ne suivent par leurs dimensions, il en résulte que les aiguilles viennent traverser les points non solidifiés, qui existent à la rencontre des pointements des premiers cristaux. Une troisième couche se forme sous la seconde, puis une quatrième, et ainsi de suite, de sorte que la glace, à mesure qu'elle épaisit, devient de plus en plus solide par la juxtaposition de feuillets cristallisés, dont les fissures se contrarient, mais dont les cristaux ne se croisent ni ne se frottent, comme on pourrait le supposer. Il est difficile de suivre cette cristallisation quand elle se fait, mais on distingue facilement l'arrangement des cristaux, quand la glace fond à la surface par l'action d'un vent chaud. La structure de certaines variétés de glaces est alors mise à nu comme celle de certaines roches dont les surfaces sont restées longtemps exposées à l'influence des agents atmosphériques. La glace est ordinairement transparente, et à tel point, qu'on peut en fabriquer des lentilles qui allument

parfaitement l'amadou et d'autres corps; mais elle n'offre ce caractère qu'autant qu'elle s'est formée sur une surface liquide dont elle n'a pas été séparée par de l'air; car, dans ce cas, la cristallisation ne s'opère plus de la même manière; une petite couche d'air s'interpose entre chaque couche d'aiguilles cristallisées, et quoique la glace soit parfaitement unie, quoiqu'elle ne soit pas le résultat d'une cristallisation confuse, comme cela arrive souvent, elle est tout à fait opaque. On trouve fréquemment des exemples de cette disposition dans les fossés qui sont le long des routes, parce que la glace a d'abord commencé à se former sur l'eau, et que celle-ci s'est peu à peu retirée en s'infiltrant dans le terrain. Quelquefois même on pourrait compter le nombre de couches dont se compose la glace, qui ayant pris une forme concave ou convexe, selon l'étendue et la nature des bords, présente des zones concentriques plus ou moins transparentes et quelquefois tout à fait opaques. S'il existe une certaine distance entre la surface de l'eau et celle de la glace, il se forme une petite quantité de vapeurs qui viennent cristalliser sur la dernière couche, en aiguilles qui font avec elle un angle droit; car tous les petits cristaux ont leur axe dirigé vers la surface du liquide.

Dans certaines circonstances qu'il est bien difficile de déterminer, mais que je crois pourtant pouvoir rapporter à quelques cas de matières étrangères et terreuses tenues en suspension, l'eau cristallise d'une manière tout à fait différente; sa surface offre d'abord une infinité de petits points brillants qui se touchent et se joignent très-exactement sans se souder. Chacun de ces points s'allonge en dessous, et au bout d'un certain temps il en résulte une glace très-épaisse, mais qui présente peu de solidité. Elle est formée d'une infinité de petits prismes hexagonaux, serrés les uns contre les autres, qui lui donnent une structure fibreuse tout à fait semblable à certaines variétés de gypse d'Angleterre. (Fig. V.) Au moindre dégel, comme la chaleur augmente la densité de l'eau et contracte par conséquent chaque cristal prismatique, la glace se divise perpendiculairement à sa surface en une infinité de petits faisceaux qui se subdivisent encore, et au bout de quelque

temps elle a disparu. En cristallisant ainsi, la glace est toujours parfaitement pure, car les matières terreuses qui s'y trouvent en suspension, et qui vraisemblablement déterminent cette forme, se précipitent ou salissent tout au plus sa surface inférieure. Dans cet état prismatique, la glace présente une grande flexibilité, et je ne suis pas le seul qui ait remarqué ce caractère, car M. Meissas l'a aussi observé plusieurs fois sur les bords de la Loire¹.

La glace augmente continuellement en épaisseur quand la température est assez basse; le froid semble y pénétrer par une sorte de cémentation, ou, pour parler plus exactement, la chaleur s'échappe en rayonnant de la surface de l'eau encore liquide que sa moindre pesanteur amène continuellement sous la couche de glace déjà formée.

Ces considérations tendraient à faire admettre le prisme hexagonal pour la forme primitive de l'eau, d'autant plus que cette idée est fortement appuyée par les intéressantes observations de M. de Thury dans la caverne de Fondeurle. Voici comment il s'exprime à cet égard :

« Une des cavernes de ce singulier plateau nous présente un phénomène pour le moins aussi curieux que ce site, et encore peu connu. Cette caverne, dite la Glacière, a deux grandes ouvertures, l'une à l'est, et l'autre à l'ouest; elle descend au nord par une pente rapide et va probablement rejoindre d'autres cavités souterraines inférieures, qu'on entend résonner sous les pieds, mais dans lesquelles nous ne pûmes pénétrer : cette caverne a environ 60 mètres de profondeur, sa largeur est très-

¹ « Plusieurs personnes ont déjà remarqué que l'eau cristallise en prismes à 6 pans. J'ai trouvé plusieurs fois, moi-même, sur les bords de la Loire, auprès d'Orléans, des masses de glace assez considérables et composées en grande partie de baguettes prismatiques de 0m,901 à 0m,01 de diamètre; fort peu de prismes paraissaient être à 6 pans réguliers, circonstance que l'on doit sans doute attribuer au groupement. Ayant pris un grand nombre de ces prismes les uns après les autres, et ayant diminué leurs dimensions latérales dans le sens de la longueur, j'ai observé que lorsque leur épaisseur était réduite à 1 ou 2 millimètres, la glace était rendue très-flexible, beaucoup plus flexible que le phosphore pur.... » (*Lettre de M. Meissas à l'Académie des sciences. Institut, 3^e année, p. 7.*)

irrégulière; un rocher qui a plus de 20 mètres d'épaisseur lui sert de ciel; son intérieur est tapissé de belles stalactites calcaires, qui s'élèvent ou qui pointent à travers une nappe de glace de la plus grande limpidité. A la voûte de la caverne, on voit également pendre un grand nombre de stalactites de glace; ces stalactites sont isolées dans le milieu de la caverne, tandis que celles d'albâtre sont appuyées contre ses parois et forment à leur surface les plis et replis d'une riche draperie. Une de ces colonnes de glace ayant été entamée par un de nos voyageurs, il plaça, à notre insu, dans son intérieur la lumière qu'il portait; au même instant, nous fûmes tous éblouis par l'effet magique et inattendu que produisait son éclat. La clarté la plus brillante, les nuances variées, jaunes, blanches, vertes et rouges, la lumière réfléchie sur les nappes de glace, les colonnes d'albâtre, les grandes stalagmites qui tapissaient les parois et qui étaient éclairées par tant de reflets divers, furent longtemps le sujet de notre admiration; mais elle fut au comble quand ayant détaché quelques-unes de ces colonnes de stalactites de glace, nous nous aperçûmes qu'elles étaient vides, qu'elles formaient des géodes et que tout l'intérieur était tapissé de belles aiguilles parfaitement cristallisées. Ce phénomène nous fit apporter une plus grande attention sur la texture de la nappe de glace sur laquelle nous marchions, et nous vîmes avec autant de surprise que de satisfaction qu'elle était entièrement composée de parties cristallisées de la plus grande limpidité, présentant, pour la plupart, des prismes hexaèdres dont la surface terminale offrait des stries parallèles aux faces du prisme, tandis que les cristaux de l'intérieur des stalactites étaient, les uns des prismes triangulaires et les autres des prismes hexaèdres, dont quelques-uns offraient également des stries sur la face terminale, et dont plusieurs, qui avaient jusqu'à 5 millimètres de diamètre, se présentaient avec des facettes qui remplaçaient les arêtes terminales de la jonction de la base du prisme. Quelque scrupuleuses qu'aient été nos recherches, nous n'avons pu découvrir aucune pyramide complète.

» Après avoir bien constaté la cristallisation de la nappe de glace et celle de l'intérieur de

ces belles stalactites, nous réitérâmes notre illumination en variant et plaçant nos lumières dans les parties les plus limpides et les mieux cristallisées, et nous eûmes la satisfaction de produire dans les ruines des cavernes du désert de Fondeurle un effet digne de tout ce que la magie des palais des *Mille et une Nuits* peut présenter de plus riche et de plus brillant à l'imagination.

» Cette belle et intéressante caverne est connue dans le pays sous le nom de Glacière de Fondeurle; on y exploite la nappe de glace pour les villes voisines, elle se transporte même jusqu'à Valence, qui est à plus de deux lieues de distance *.

Malgré ces différents faits, quelques savants croient que la forme primitive de l'eau est un rhomboèdre. Ils s'appuient principalement sur une curieuse observation du docteur Clarke.

Le 3 janvier 1821, la température de l'air n'étant que de -0.5 , M. Clarke aperçut à Cambridge, au-dessous d'un pont en bois, des glaçons pendants qu'atteignait constamment le brouillard formé par une chute d'eau voisine. Plusieurs de ces masses ayant été détachées, M. Clarke reconnut qu'elles se composaient en général de cristaux rhomboïdaux parfaits, ayant des angles obtus de 120° et des angles aigus de 60° ; plusieurs de ces cristaux avaient plus d'un pouce de longueur. Le 6 janvier, le thermomètre s'étant élevé jusqu'à $+3^\circ,19$, le dégel eut lieu, et néanmoins les cristaux, durant leur fusion, conservèrent toujours leur figure rhomboïdale; ce qui prouve que cette figure est la forme primitive, et que les prismes hexaèdres, observés par M. de Thury à Fondeurle, n'étaient que des cristaux secondaires *.

La glace ne se présente pas seulement à la surface de l'eau, on la rencontre encore sur la terre, où elle cristallise d'une manière très-singulière. Nous avons souvent observé ces cristaux dans les montagnes d'Auvergne; mais Desmarests les avait rencontrés bien avant nous dans les mêmes lieux, ainsi que

* Extrait d'un voyage minéralogique, manuscrit, fait en 1805, dans la grande chaîne calcaire subalpine des régions sud-est de la France, par M. Héricart de Thury. *Journal des mines*, n° 194, p. 157.

* *Transactions de la Société de Cambridge.*

dans le Velay, le Vivarais, le Forez, les environs d'Annonay, etc., et en général dans tous les pays de granites en décomposition, et même dans les pays volcaniques, en France et dans les environs de Rome, mais jamais dans les pays calcaires et à couches horizontales ou inclinées.

Desmarests rapporte qu'il remarqua pour la première fois cette végétation en 1763, à quelques lieues de Limoges, en revenant à Paris, par un froid de 4° au-dessous de 0, après quelques jours de pluie. La grande route était couverte d'une croûte assez épaisse, qu'il prit d'abord pour de la boue ; mais étant descendu de cheval, il observa avec surprise, dans les trous faits dans cette croûte par les pieds de son cheval, une couche de glace composée d'un nombre infini de filets limpides, parallèles, adhérents assez fortement entre eux, ayant une forme prismatique assez marquée qu'il compare aux filets de gypse, excepté que ceux de la glace sont plus distincts. La longueur de ces filets variait d'une place à une autre depuis un demi-pouce jusqu'à deux ; ils étaient fort courts lorsque la terre approchait davantage de la nature du sable, et plus longs lorsqu'elle était formée d'un mélange de sable et de terre argileuse imbibée d'eau en certaines parties. La superficie de ces croûtes de glace offrait un grand nombre de gerçures qui formaient des prismes hexagones dont la base avait environ 2 pouces de diamètre. Quelques-uns de ces prismes étaient encore divisés en d'autres prismes moins réguliers. Ils étaient toujours perpendiculaires au plan du terrain où ils avaient été formés, malgré l'inclinaison des talus, quelquefois de 45°. Desmarests les trouva encore sur les terres voisines cultivées, comme sur la route elle-même, pendant un espace de huit lieues, toujours au milieu des terres végétales, visiblement dues à la destruction des granites ; et quoique le froid se soutint au même degré, il n'en vit plus entre Argeuton, Châteauroux et Orléans : il n'en put trouver autour de Paris.

Ce savant observateur a suivi ce phénomène chaque hiver, en Limousin, depuis 1763 jusqu'en 1770, et il a remarqué qu'il avait lieu dans les endroits couverts d'une certaine quantité de terre végétale, et manquait où le

sol ne présentait que des rochers de granite, des schistes durs et solides, ou de gros sables ; il n'y a remarqué alors que des couches de givre et de glace informe.

Desmarests n'a trouvé des filets de glace à la surface de la terre, par couches suivies et continues, qu'à la suite de pluies abondantes et soutenues pendant plusieurs jours ; l'épaisseur était d'autant plus grande, que celle des terres qui recouvraient le sol était plus considérable et que le froid avait pris plus brusquement. Les couches prenaient successivement de l'accroissement pendant trois ou quatre jours seulement et s'éprouvaient plus d'augmentation, quoique le froid continuât ; l'accroissement se faisait toujours par la partie inférieure qui touchait la terre imbibée d'eau, de manière que ce qui était formé la veille se trouvait soulevé par ce qui se formait le lendemain, et d'une quantité égale aux additions qui diminuaient sensiblement chaque jour en hauteur : lorsque le froid restait le même, les épaisseurs restaient égales ; elles n'étaient pas distinctes les unes des autres et les filets se correspondaient : si le froid s'adoucissait pendant le jour, les produits de chaque reprise de froid, pendant la nuit, se trouvaient séparés par des intervalles remplis de terre ou de glace informe, et les filets prismatiques de glace ne se raccordaient plus d'une addition à l'autre ; faits absolument analogues à ceux que l'auteur avait observés dans les glaçons spongieux qui se forment au milieu des sables du fond des rivières. (V. *Journal de Physique*, janvier 1783.) Dès que ces couches n'augmentaient plus, elles commençaient à diminuer ; ou y voyait des gerçures qui les partageaient en diverses portions prismatiques ; les petits prismes se détachaient les uns des autres, s'arrondissaient en se décomposant, et ne représentaient plus qu'un assemblage de petits filons d'une grande ténacité, qui disparaissaient successivement les uns après les autres *.

Depuis les observations de Desmarests, M. Clère a observé, près de Mézières, une disposition de la glace tout à fait semblable à celle que ce savant a fait connaître le premier.

* *Journal de Physique*, mars 1783.

Les pentes de plusieurs collines semblaient couvertes de longues efflorescences qui tombaient et se renouvelaient ensuite. Ces efflorescences offraient à l'œil des assemblages continus de petits faisceaux de glace composés de cylindres cannelés et fibreux, qui se surmontaient parallèlement entre eux, de manière pourtant à indiquer des lignes distinctes de séparation, espacées en hauteur à des distances variables, mais dont la plus grande ne lui a pas semblé dépasser 9 décimètres $\frac{1}{2}$, *maximum* de la longueur des cylindres, qui presque toujours diminuent en retraite à chaque rangée, et parfois aussi en hauteur pour les rangées supérieures. Entre la ligne de jonction qui séparait les deux rangées inférieures, il a observé une couche peu épaisse d'argile glaise, jaunâtre, congelée, servant pour ainsi dire de pâte à un grand nombre de cailloux roulés, depuis la grosseur d'une noisette jusqu'à celle du poing. Plus haut, dans d'autres endroits, on voyait quelques-uns de ces cailloux renfermés sans ciment entre deux assises du massif cristallin, où ils paraissaient avoir été portés par une force ascensionnelle, qui les aurait soulevés au moment de la formation des faisceaux qui les supportaient, et sans doute par la même cause qui les avait déjà primitivement enlevés de terre.

Ces efflorescences de glace lui ont paru affecter toutes sortes de positions, depuis la verticale jusqu'à l'horizontale, selon la disposition naturelle du sol, qui presque généralement formait alors des angles droits avec les faisceaux de tubes de glace.

Cette glace fibreuse, qui sort du sol dans les montagnes à surface meuble, peut aussi se former dans d'autres circonstances. Patrin en a observé dans une mine de la Daourie.

« Ce qui m'avait, dit-il, principalement attiré dans cette caverne, c'était la curiosité de voir la congélation de la voûte, que l'on m'avait dit être de la plus grande beauté, et que je trouvais en effet d'un éclat éblouissant : c'étaient de longs festons de glace presque aussi légère que des bulles de savon, formées d'un assemblage de tubes hexaédres qui s'épanouissaient à leur extrémité et présentaient des pyramides creuses. Cette glace,

légère et papyracée, était produite par les vapeurs qui s'élevaient du fond de la grotte au commencement de l'hiver, où la température était sensiblement plus chaude que dans le moment où je m'y trouvais. » (Fig. VI.)

M. Cordier a fait une observation semblable dans les Pyrénées à une grande élévation sur la Maladetta.

« A l'aide de nos crampons, nous avançâmes vite et sans difficulté vers le fond de l'enceinte. Le grain de la glace était successivement devenu plus tendre et plus fin ; sa surface, frappée des rayons du soleil, éblouissait par un éclat vif, autant que par sa blancheur. Cette apparence extraordinaire s'étant accrue, j'en cherchai la cause, et je fus très-surpris en découvrant qu'elle était produite par une multitude de prismes hexaédres de glace, ou, si l'on veut, d'eau cristallisée. Ces prismes groupés, tantôt confusément, tantôt en petites bouppes, étaient parfaitement réguliers. Leur longueur allait souvent jusqu'à 4 millimètres sur 1 d'épaisseur. Nous étions alors un peu plus haut que 3100^m. A la manière dont les prismes sont attachés, on ne saurait douter qu'ils n'aient été formés en place. Or, si on se rappelle les expériences de Saussure sur la température des neiges et des glaces très-élevées, on pourra attribuer ce phénomène à une condensation lente des vapeurs aqueuses, opérée seulement à la surface du glacier, pendant un état de calme dans l'atmosphère. Au reste, si cette découverte nous dédommageait de nos fatigues, le succès incomplet que nous allions obtenir fut plus qu'acheté par les difficultés du trajet qui restait à faire. »

Il est bien rare que la glace qui se forme à la surface du sol persiste longtemps ; car, dans nos climats, la gelée ne pénètre guère, pendant les plus grands froids, au delà de 65 centimètres (environ 2 pieds) ; mais il n'en est pas de même dans le Nord. En Russie, la gelée descend à trois mètres, et dans plusieurs parties de la Sibérie la terre reste glacée à six pieds de profondeur. M. Hedenstrom dit que le sol mis à découvert sur plusieurs points de cette contrée, dans les escarpements des lacs et des lits de rivières,

¹ *Annales des Mines*, t. VII, p. 16.

² *Journal de Physique*, mars 1791, p. 232 et 256.

est composé de terres et de conches de glace alternant horizontalement et traversées par des filons verticaux d'une glace plus récente¹, en sorte que l'eau occupe la place d'une roche solide et permanente.

Jusqu'ici, nous ne nous sommes occupés que de la formation de la glace sur le sol ou à la surface des eaux dormantes, mais on sait qu'il s'en forme aussi dans les eaux courantes, lors même qu'elles ont une certaine vitesse.

Si une rivière n'est pas très-rapide, elle se congèle assez facilement, et c'est ordinairement sur les bords que la glace commence à se former. Sa cristallisation s'opère comme sur les eaux stagnantes, mais avec moins de régularité et de promptitude, et presque toujours la glace formée est plus mince au milieu que sur les bords. Le contraire a souvent lieu dans le dégel; les bords s'amincissent, se détachent et permettent à la débâcle de s'opérer plus promptement.

En général, la congélation plus ou moins prompte d'un cours d'eau, dépend de différentes circonstances qui peuvent se neutraliser en partie ou agir toutes en même temps. L'intensité du froid, sa durée, la vitesse des eaux et leur hauteur plus ou moins grande, l'état du ciel qui favorise ou détruit le rayonnement, sont les principales causes qui modifient les effets de la gelée.

Le froid le plus vif n'est pas toujours celui qui produit le plus tôt la congélation des rivières. M. Arago pense que le rayonnement y contribue pour le moins autant. « C'est ainsi, dit-il, qu'en décembre 1762, la Seine fut totalement prise à la suite de six jours de gelée, dont la température moyenne était de $-3^{\circ},9$, et sans que le plus grand froid eût dépassé $-9^{\circ},7$, tandis qu'en 1748 la rivière coulait encore après huit jours d'une température moyenne de $-4^{\circ},3$, le plus grand froid, dans cet intervalle, s'étant déjà élevé jusqu'à -12° . Cependant la hauteur des eaux, au-dessus du pont de la Tournelle (cette hauteur, dans chaque rivière, règle constamment la vitesse), était la même aux deux époques. On ne peut guère expliquer cette anomalie, qu'en examinant si les circonstances

atmosphériques étaient les mêmes en 1762 et en 1748, et on verra que le thermomètre en plein air n'indique pas toujours exactement la température des corps solides et liquides placés à la surface du globe. En effet, en 1762, les six jours qui précédèrent la congélation totale de la rivière furent parfaitement sereins, tandis qu'en 1748, le ciel était ou nuageux ou totalement couvert. Or, en ajoutant 10 à 12° comme effet du rayonnement de l'eau vers le ciel, au froid indiqué en 1762, on trouvera que, malgré l'indication du thermomètre, l'eau, dans cette année, a éprouvé, à la surface du moins, un froid beaucoup plus vif qu'en 1748, et de là toute contradiction disparaît.

En 1773, la Seine charriait, le 6 février, après cinq jours de gelée, dont la température moyenne fut de -6° centigrades et la température extrême de $-10^{\circ},6$. En 1776, les glaçons flottants ne parurent que le 19 janvier, quoiqu'il gelât depuis le 9, et que, du 15 au 19 exclusivement, la température moyenne eût été de $-8^{\circ},3$ centigrades, et la température extrême de $-13^{\circ},1$. La hauteur des eaux n'expliquerait pas le phénomène; car en 1776 elle était de 4 pieds $\frac{1}{2}$, tandis qu'en 1673 elle s'élevait à 8 pieds. Restent donc les circonstances atmosphériques. Or, les 3, 4, 5 et 6 février furent des jours presque constamment sereins en 1773. Dans l'année 1776, au contraire, du 9 au 19 janvier, le ciel ne se découvrit que pendant peu d'instant. Le rayonnement nocturne est donc ici encore la seule cause qui puisse expliquer comment il est arrivé que, malgré une plus grande hauteur des eaux et un moindre froid de l'atmosphère, la Seine se soit plus facilement gelée en 1773 qu'en 1776².

La vitesse des eaux, lorsqu'elle est grande et que celles-ci sont peu profondes, ne permet qu'une congélation partielle et fort singulière, qui s'opère au fond de l'eau. La glace qui s'y attache diffère beaucoup de celle qui prend naissance à la surface. Elle est en masses mamelonnées ou hérissées de cristaux, mais toujours très-irrégulières et semblables à de petits pelotons de neige, qui se seraient précipités à demi fondus et se seraient grou-

¹ Observations sur la Sibérie.

² Annuaire du bureau des longitudes, 1838.

pés de différentes manières. Elle s'attache de préférence aux corps saillants dans le lit des ruisseaux, et semble se comporter alors comme les cristaux de la plupart des sels, qui cherchent, pour se fixer, tout ce qui se présente en saillies dans les bassins où se trouvent leurs dissolutions concentrées. Les rivières, et surtout celles dont les eaux sont limpides, sont quelquefois encombrées par ces sortes de glaces qui tout à coup se détachent si la température vient à s'adoucir, et disparaissent entraînées ou fondues par le courant. On voit même quelquefois, dans les mêmes eaux, la glace se former tantôt à la surface et tantôt au fond. M. Farquharson, qui s'est beaucoup occupé de cette espèce de glace, l'attribue aux variations qui surviennent dans le rayonnement du fond des rivières, par suite de circonstances très-diverses. Il imagine que quand ce rayonnement a lieu par les matériaux solides et opaques du fond de la rivière, à travers la couche d'eau transparente, la congélation s'opère sur la portion du fluide refroidie déjà au point de geler, et en contact immédiat avec le corps qui émet son calorique. Les circonstances qui contribuent à cet effet, en favorisant l'émission, sont principalement un ciel très-serein, une grande transparence des eaux, l'abaissement de la température du fond qui peut être plus rapide que celle de l'eau qui coule dessus, enfin la persistance de la glace à rester attachée au fond tant que le calorique fourni par les conches inférieures solides est ainsi dissipé par le rayonnement.

« Il y a toutefois encore, dit M. Farquharson, un point important à éclaircir. Pourquoi la formation de cette glace n'a-t-elle pas lieu dans une eau tranquille plutôt que dans l'eau courante, puisque le rayonnement paraît plus facile dans la première que dans la seconde? A cela il répond que dans une eau tranquille, l'ordre hydrostatique que M. Arago a démontré comme étant un état des eaux dans les cas ordinaires à la température de $4^{\circ},6$, a toute liberté pour s'établir et n'est pas troublé par l'action mécanique du courant. Quand la température d'un corps fluide, en effet, est au-dessous de la température générale, par le contact avec des matières solides, refroidies elles-mêmes par rayonnement, il est déplacé par le liquide plus pesant et plus chaud qui

se trouve au-dessus. La glace se forme donc, dans ce cas, à la surface, tant par le concours du froid provenant du rayonnement, que par celui que produit le contact de l'air froid superposé. Dans les courants, l'ordre hydrostatique est renversé, et l'eau la plus froide et qui est en même temps la plus légère ne se mêle plus avec celle du fond, qui est plus chaude; mais dans les endroits tournoyants du courant, elle est amenée tout à coup, sans se mêler, en contact direct avec le fond, refroidi déjà à une température de 0° ; elle ne peut commémiquer aucune portion de chaleur au fond sans qu'une portion se convertisse en glace, dont les aiguilles et les cristaux s'attachent aux corps solides et aux points mêmes auxquels ils ont cédé en partie leur chaleur ¹. »

Le mouvement dont l'eau est douée communique aussi à la glace une structure très-singulière, c'est la structure testacée qu'elle présente dans la congélation des cascades et dans la formation des stalactites. Dans le premier cas, l'eau violemment ébranlée, abandonne une grande quantité de vapeurs, qui tend à se précipiter et à cristalliser régulièrement autour des plantes, des rochers et sur tous les corps saillants qu'elle peut rencontrer. La cristallisation est alors celle du givre; ce sont des cristaux aciculaires, dont le grand axe est perpendiculaire au support. Mais dans les lieux où l'eau tombe, elle jaillit et s'écarte en gouttelettes nombreuses, qui se solidifient dès qu'elles rencontrent un support. Toutes ces gouttelettes se superposent et forment autant d'écailles glacées, placées en imbrication les unes sur les autres; ce qui donne à la masse une solidité extrême. A peine si l'on peut briser les glaçons, qui se font ainsi à la manière des stalagmites aux environs des cascades. Si le froid continue, les masses d'eau glacée s'élèvent, s'étendent, se ramifient quelquefois, puis se réunissent en longues colonnes torses, qui s'élèvent du sol et vont à la rencontre de la chute. Il est difficile de voir quelque chose de plus pittoresque que les festons glacés qui décorent les cascades quand elles n'ont plus la parure des végétaux. Malgré la densité de ces écailles glacées, on reconnaît qu'elles sont formées de glace fibreuse,

¹ *Edimburg new philosophic Magazine.*

dont les fibres sont de longueur inégale et convergent toutes vers un centre. On peut considérer chacune de ces plaques convexes comme une portion de sphère, dont la courbure prolongée donnerait la circonférence, c'est-à-dire comme un arc de cercle. Il arrive souvent qu'on ne peut même au dégel reconnaître la structure fibreuse de ces écailles. (Fig. VII.)

Les stalactites, bien loin d'avoir la solidité de la glace des cascades ou des stalagmites, se brisent avec la plus grande facilité, et l'on peut presque toujours distinguer leur structure. Elles s'accroissent comme des plantes dont l'extrémité croissante serait dirigée vers la terre. Elles sont composées de couches superposées, dont la dernière est presque toujours la plus nouvelle et forme la pointe des glaçons, en sorte que si les couches étaient distinctes, comme elles le sont dans quelques circonstances, on verrait que leur nombre, assez grand vers la base ou le point d'attache, diminue à mesure qu'on approche de l'extrémité, et que la stalactite est formée par un nombre indéterminé de cônes transparents, qui s'embottent avec exactitude. La glace qui les forme est toujours fibreuse, et ses fibres sont perpendiculaires à l'axe central, ce qui permet de concevoir la facilité avec laquelle on peut les briser en travers, c'est-à-dire dans le sens du clivage et de la juxtaposition de leurs cristaux. (Fig. VIII.)

L'eau douce gèle beaucoup plus facilement que l'eau salée, cependant celle-ci se congèle quand le froid est assez intense. Ainsi le lac Baikal se couvre de glace vers la fin de novembre, plus d'un mois après que toutes les rivières du pays sont arrêtées. Il dégèle aussi un mois plus tard. Patrin rapporte qu'il se trouva sur la glace vers la fin d'avril; ce ne fut pas, dit-il, sans quelque danger. « Le long de sa rive orientale où l'eau est basse à cause des atterrissements qui y sont apportés par la Selenga et par d'autres rivières, il était dégelé à une grande distance; je fis près d'une lieue en bateau pour atteindre la glace; je trouvai ensuite des fentes considérables qu'on eut assez de peine à faire franchir à mes voitures, malgré les longues et fortes planches dont j'étais pourvu.

» Quand j'approchai de sa rive occidentale,

où l'eau est profonde, et qui est bornée de hautes montagnes, je trouvai la glace moins mauvaise, à l'exception d'un grand nombre d'ouvertures qui ont depuis 10 jusqu'à 50 et 40 pieds de diamètre, et qui sont occasionnées par des sources chaudes et où l'eau ne gèle jamais, quelque froid qu'il fasse, lors même qu'il atteint 33 ou 40 degrés. »

L'eau qui résulte de la fonte des glaces qui se sont formées sur l'eau salée, est presque toujours douce ou du moins contient très-peu de sel, mais cette glace est toujours bien plus fragile que la glace ordinaire. Cette dernière acquiert une grande densité dans les pays du Nord, et elle résiste aux efforts les plus violents.

Voici ce que Meiran rapporte à ce sujet :

« Pendant l'hiver de 1740, on construisit à St.-Petersbourg, suivant les règles de la plus élégante architecture, un palais de glace de 52 pieds et demi de longueur sur 16 pieds et demi de largeur et 20 pieds de hauteur, sans que le poids des parties supérieures et du comble, qui étaient aussi de glace, parût endommager le moins du monde le pied de l'édifice. La Newa, rivière voisine, où la glace avait environ 2 ou 3 pieds d'épaisseur, en avait fourni les matériaux. Pour en augmenter la merveille, on plaça au-devant du bâtiment six canons de glace avec leurs affûts de la même matière, et deux mortiers à bombes dans les mêmes proportions que ceux de fonte. Ces pièces étaient du calibre de celles qui portent ordinairement trois livres de poudre; on ne leur en donna cependant qu'un quarteron, et on tira. Le boulet d'une de ces pièces perça, à soixante pas, une planche de 2 pouces d'épaisseur. Le canon, dont l'épaisseur était au plus de 4 poncees, n'éclata point par cette explosion. »

La glace des glaciers, que nous allons étudier, est loin de présenter les mêmes caractères et surtout la même solidité.

DES GLACIERS.

Quand la neige tombe en gros flocons, elle occupe un espace dix fois plus considérable que l'eau qui en résulterait de sa liquéfaction. Si elle tombe en paillettes fines, elle tient moitié moins de place. C'est sous cet état qu'elle

descend le plus ordinairement dans tous les lieux élevés, sur toutes les hautes chaînes de montagnes où elle se tasse peu à peu, et acquiert alors une densité trois fois moindre que l'eau ordinaire, à cause des vides nombreux, qui existent encore entre tous ses cristaux. De vastes amas d'eau glacée de cette nature prennent le nom de *champs de neige*, et occupent temporairement des espaces immenses dans les climats du Nord, et éternellement sur les hautes montagnes et près des pôles. Ils sont l'origine des *glaciers*, grands fleuves congelés qui partent des champs de neige, et qui descendent lentement dans les vallées des montagnes, suivant leur pente, comme le ferait une rivière, s'embranchant quand elles se divisent, et portant au loin les débris qu'ils ont arrachés aux aiguilles élancées qui les dominent. C'est un spectacle magnifique que celui de ces hautes régions, quand on jette les yeux pour la première fois sur ces mers de glaces, tant de fois décrites, et dont les descriptions ne peuvent jamais peindre les beautés. Rien ne peut représenter toutes ces formes bizarres où l'imagination voit partout des palais, des châteaux, des ruines et des obélisques, et se croit souvent transportée loin du globe que nous étudions; où l'artiste vient chercher ces effets de lumière inconnus aux habitants des plaines, ces teintes sombres et éclatantes à la fois, que réfléchissent mille fragments aux contours bizarres et fantastiques; où le poète enfin rencontre ces émotions puissantes que le vulgaire ne comprend pas, tandis que le philosophe vient méditer, au bruit des avalanches, sur l'avenir lointain de notre planète glacée. De larges crevasses partagent les glaciers, et présentent cette teinte d'un bleu céleste qu'offre une mer pure et profonde, que donne le ciel dans ces hautes régions, et que les glaciers eux-mêmes offrent de loin au voyageur.

L'épaisseur des glaciers est très-variable; elle dépend de leur étendue et de la pente de la vallée dans laquelle ils se sont épanchés. Le glacier des Bois offre une masse de 80 à 100 pieds de haut, mais certains amas de glace ont une épaisseur bien plus grande.

Ils occupent généralement des vallées transversales, et rarement les grandes vallées parallèles aux chaînes de montagnes. Le glacier

des Bois, près de Chamouni, a près de cinq lieues sans aucune interruption, sur une largeur variable, mais qui vers le haut est de plus d'une lieue. Celui de Grindelwald, qu'on regarde comme le grand réservoir des eaux du Rhône et du Rhin, a près de quinze lieues de longueur. Tantôt de larges crevasses ou des fentes moins profondes divisent en polyèdres toute la masse d'un glacier, d'autres fois la surface est unie et ne présente nul obstacle à celui qui veut le traverser. Rarement cette surface est glissante comme celle de la glace ordinaire, elle est plus souvent rude et grenue. Les glaciers n'atteignent jamais les plus hautes sommités des montagnes; celles-ci, presque toujours nues et décharnées, ont des pentes trop rapides pour que la neige puisse y séjourner. On y aperçoit bien de temps en temps des neiges éphémères; mais elles roulent en avalanches, et se dispersent en poussière au gré des vents. Les hauts plateaux eux-mêmes reçoivent la neige sans se couvrir de glace, car la température est trop basse pour qu'elle puisse éprouver un commencement de fusion, et dès lors elle reste sous forme de poussière ou de neige tassée. Cette observation a été faite par toutes les personnes qui ont atteint des sommités très-élevées. Ramond remarqua la même chose au sommet du mont Perdu.

« Le pic est couvert de neige, depuis le grand glacier jusqu'à sa cime; mais vers le haut, l'épaisseur des neiges est peu considérable, parce que la forme tranchante du faite de la montagne n'en souffre point l'accumulation. Au sommet, elles ne m'ont point paru avoir plus de trois mètres de profondeur. Leur consistance est légère, et elles ne recèlent que peu ou point de glace, attendu que les dégels sont ici de trop courte durée pour les imprégner d'eau, et que la petite quantité qui se forme durant les plus beaux jours de l'été, s'écoule promptement le long des deux versants. Mais sur la pente septentrionale, ces mêmes neiges prennent peu à peu de la solidité, et se transforment bientôt en un vaste glacier, qui descend jusqu'au bord du lac, et dont la hauteur verticale est d'environ 800 mètres ».

* RAMOND, *Voyage au mont Perdu. Journal des Mines*, t. XIV, p. 332.

En effet, l'origine des glaciers est due à la fonte partielle des neiges. Elles se ramollissent et s'imprègnent d'eau pendant les jours chauds de l'été, puis se congèlent pendant les nuits. Il en résulte une glace poreuse et légère, qui descend sous forme de courants bien au delà des limites inférieures des neiges perpétuelles, et l'on voit quelquefois de grandes masses de glace, ombragées par la végétation. La chaleur de l'été ne peut pénétrer d'aussi grands amas d'eau glacée. De nouvelles couches de neige arrivent à leur origine, et les compriment de tout leur poids, en sorte qu'ils ont réellement une marche bien marquée, dont la vitesse semble augmenter et diminuer quelquefois. On a vu des glaciers envahir des vallées, s'étendre sur des prairies, engloutir des hameaux, et agir comme le font ces vastes courants de lave qui s'épanchent en bouillonnant au pied des cônes volcaniques. Tandis que le glacier augmente par une superposition de couches, il se détruit par son contact avec le sol. Abrité par des couches supérieures, il fond au contact de la terre, et produit ainsi sur son long trajet un ruisseau d'eau froide qui se fait jour à son extrémité, et creuse souvent à son point de sortie des grottes à parois transparentes, et semblables à du cristal. Là des éboulements s'opèrent, des fragments de glace se détachent et réfléchissent les nuances délicates des fleurs qui leur disputent le sol de la vallée.

Les glaciers augmentent donc d'un côté et se détruisent de l'autre. L'évaporation agit à leur surface; leur poids les entraîne dans les lieux bas où la chaleur est plus forte. C'est ainsi que dans la vallée de Chamouni on voit descendre le glacier des Buissons, ceux des Bois et de l'Argentière, qui emmènent avec eux les témoins du chemin qu'ils ont parcouru.

En effet, tous les grands glaciers ont à leur extrémité inférieure et le long de leurs bords de grands amas de sable et de débris produits par les éboulements des montagnes qui les dominent. Souvent même les glaciers sont encaissés dans toute leur longueur par des espèces de parapets composés de ces mêmes débris, que les glaces latérales de ces glaciers ont déposés sur leurs bords. On nomme ces monceaux de débris la *moraine* du glacier.

Les pierres dont l'enfouissement forme ces parapets, sont, pour la plupart, arrondies par le frottement qu'elles éprouvent contre le fond ou les bords des glaciers. Quant à leur nature, celles que l'on trouve à leur extrémité supérieure, sont des mêmes genres de roche que les montagnes qui les dominent; mais comme les glaces les entraînent vers le fond des vallées, elles arrivent entre des montagnes dont la nature est entièrement différente de la leur. En cela, les glaciers agissent comme les cours d'eau qui ont une forte pente. Ils usent leur lit, en arrachent des débris, et les déposent sur des plans moins inclinés. On trouve quelquefois plusieurs moraines distinctes, qui sont parallèles aux bords du glacier, et l'on voit souvent plusieurs de ces lignes séparées par des bandes de glaces arides et pures. Ces amas de débris s'élèvent parfois de trente à quarante pieds au-dessus de la surface du glacier, tant par la quantité de pierres qui les composent, que par les glaces mêmes, qui se trouvant garanties du soleil et de la pluie par ces mêmes amas, y demeurent plus hautes que là où elles sont à découvert.

Saussure explique très-bien la formation et le parallélisme de ces lignes d'amas pierreux, en disant que les vallées ayant la forme d'un berceau, les glaces qui sont aux deux bords, et qui, chaque année, reçoivent les débris qui se détachent des montagnes voisines, s'écartent peu à peu du bord, et descendent sensiblement vers le milieu de la vallée, où, chaque année, il se forme une ligne de ces débris, parallèle à celles des années précédentes.

Les glaciers sont fréquents sous les zones tempérées, partout où il existe des chaînes de montagnes suffisamment élevées. Ils manquent sous l'équateur, et malgré la prodigieuse élévation des montagnes, on n'y voit que des champs de neige, dont les limites sont déterminées par différentes circonstances.

A mesure que l'on avance vers le nord, la limite inférieure des glaciers s'abaisse jusqu'à descendre au niveau de la mer; mais il y a toujours une assez grande distance entre la limite inférieure des neiges perpétuelles et des glaciers. C'est vers le 67° degré de latitude que les glaciers atteignent le niveau de

la mer. M. de Buch, dans son voyage en Norwège et en Laponie, cite le Runnen, entre les provinces de Helgeland et de Saltan, dont le sommet atteint au plus 1400 mètres et d'où descend un glacier qui est le plus méridional du nord de l'Europe, et peut-être, dit M. de Buch, le seul connu dont les glaces soient baignées par les eaux de la mer.

DES GLACES POLAIRES.

Les deux pôles de la terre, exposés pendant six mois aux rayons pâles et obliques du soleil, restent ensuite pendant le même espace de temps plongés dans une longue nuit qui n'est éclairée que par les flammes éclatantes mais momentanées de l'aurore polaire. Le froid le plus intense règne alors dans ces tristes régions, et la glace remplace l'eau qui fertilise et embellit nos climats. Les deux extrémités de notre planète ressemblent alors aux glaciers et aux neiges éternelles, qui couronnent les hautes montagnes et qui s'épanchent dans les vallées. Des hommes doués d'un courage et d'une prudence extraordinaires ont vainement tenté d'arriver aux deux pôles du globe, ils ont toujours été arrêtés par les barrières glacées qui en interdisent l'accès à tous les êtres vivants. Mais si ces hommes n'ont pu parvenir au but qu'ils s'étaient proposé, ils ont du moins recueilli une masse de faits curieux pour la science, et c'est de leurs savants travaux que nous allons extraire quelques lignes intéressantes qui leur appartiennent en totalité.

Nature de la glace polaire.

On distingue dans les régions polaires la *glace d'eau douce* et la *glace d'eau salée*.

La première se reconnaît facilement en mer à son aspect noirâtre et à sa belle couleur verte et transparente quand on la retire de l'eau. Le capitaine Scoresby en a fait plusieurs fois des lentilles qui ne le cédaient pas au plus beau cristal, et dont il se servait pour allumer du bois et les pipes des marins, très-étonnés de voir ces masses de glace conserver leur solidité et leur transparence. Dans cette circonstance, la glace la plus dure et la plus transparente est de près d'un dixième

plus légère que l'eau de mer à la température de 0. Plongée dans de l'eau pure de cette température, la proportion de la partie élevée à celle qui s'enfonce est comme 1 est à 13. Sa pesanteur spécifique est à peu près de 0,937.

La seconde espèce est blanche, poreuse et opaque, excepté les morceaux fort minces. La lumière qui la traverse est verdâtre. Elle est moins dure et surnage plus facilement que la glace d'eau douce. Longtemps exposée à l'air, elle se durcit et donne de l'eau douce en fondant. L'eau, au contraire, qu'on obtient par la fonte des fragments retirés de l'Océan reste toujours un peu saumâtre, quoique très-probablement cette saveur ne soit due qu'à de l'eau salée retenue dans les pores de la glace. Le capitaine Scoresby ne put cependant jamais parvenir à obtenir avec de l'eau de mer une glace dense et transparente. Il assure néanmoins que la gelée sépare facilement l'eau du sel, et il cite les jets d'eau salée qu'une mer bouleuse jetait souvent sur son vaisseau et qui se transformaient en glaçons. On observait constamment dans le milieu une portion d'eau qui ne gelait pas et qui était saturée de sel.

Quand la glace d'eau salée nage dans l'Océan, à la température de 0, la partie au-dessus de la surface est à la partie submergée à peu près comme 1 est à 4. Dans l'eau douce, à la même température, cette proportion est à peu près comme 10 est à 60, ou presque comme 1 est à 7. Il paraît donc que sa pesanteur spécifique est 0,873¹.

De l'origine et de l'aspect des glaces polaires.

Les grands glaciers qui occupent les deux pôles ont été étudiés avec bien plus de soin au nord qu'au sud, quoique, selon toute apparence, ils soient beaucoup plus étendus autour du pôle austral.

Les côtes des terres les plus avancées vers le nord sont presque toujours couvertes d'une

¹ Ces caractères des glaces polaires et la majeure partie de ce qui suit est extrait de l'ouvrage de M. Scoresby, dont le chapitre relatif à ces glaciers des pôles a été traduit par M. L. de Buch, et inséré dans le tome V des *Annales de Chimie et de Physique*.

grande quantité de glaces qui s'y forment souvent, et qui d'autres fois viennent y échouer et restent pendant de longues années sur les mêmes rivages. Mais indépendamment des glaces qui sont ainsi accumulées contre les continents, la mer elle-même en est couverte.

Ce sont ces vastes plaines glacées que l'on appelle *champs de glace*, et qui ont une telle étendue qu'on n'aperçoit pas leurs limites du haut du mât d'un vaisseau. Ces champs, flottant à la surface de la mer, s'élèvent de quatre à six pieds au-dessus de sa surface, et s'enfoncent jusqu'à vingt pieds au-dessous. On en a vu de plus de trente lieues de long et de plus de 15 lieues de large, et de tels champs sont quelquefois si unis, qu'un carrosse aurait pu avancer de cent milles sur un de ceux que M. Scoresby rencontra, sans éprouver le moindre obstacle.

Ces champs ne restent pas toujours entiers, ils se brisent souvent avec fracas, et les fragments s'amorcelant, se soudant de diverses manières, donnent naissance à de nouveaux champs bien moins réguliers que les précédents. Des protubérances, connues des marins anglais sous le nom de *hummock*, s'élèvent au-dessus d'eux à la hauteur de trente pieds, et donnent aux glaces polaires une physionomie particulière. D'autres protubérances, nommées *calf*, et analogues aux premières, n'en diffèrent qu'en ce qu'elles sont saillies en dessous et plongent par conséquent dans l'eau. Toutes les masses de glace répandues dans le grand Océan et couvrant un espace assez étendu, peuvent être considérées comme des champs de glace brisés, à fragments soudés ou superposés de différentes manières.

Quand la température s'élève un peu, il arrive quelquefois que les champs de glace déjà brisés laissent disparaître leurs fragments qui deviennent des glaces flottantes, dont les formes sont très-bizarres. M. Robert en remarqua près des côtes d'Islande, qui avaient la forme d'immenses bolets, sorte de champignon, dont le chapeau était blanc et le support d'un bleu intense. La mer qui les baignait continuellement, en leur donnant cette forme, prenait une belle teinte verte dans le voisinage.

Dans quelques circonstances, il semble que

la vapeur d'eau puisse venir se fixer sur ces masses flottantes et y déposer un givre gigantesque. Le capitaine Parry rapporte que, se trouvant à une latitude très-élevée, il rencontra une série de glaçons d'une structure tout à fait singulière. Leur surface était presque entièrement couverte d'aiguilles de glace implantées verticalement, de 5 à 10 pouces de longueur sur un demi-pouce d'épaisseur, pointues par les deux bouts. Ces *huissons de glace*, qui rendaient la marche extrêmement pénible, déchiraient les bottes et blessaient les pieds. Pour surcroît d'inconvénients, ces glaçons extraordinaires étaient chargés, pour la plupart, de tertres plus ou moins exhaussés, sur lesquels il fallait faire passer les bateaux, quelquefois en les soulevant perpendiculairement. On ne sait pas encore bien exactement comment se forment les champs de glace qui produisent ensuite toutes les variétés de forme que l'on rencontre dans la mer du Nord. On sait seulement que la glace peut être produite en pleine mer. M. Scoresby en a vu former à vingt lieues du Spitzberg, et même par un vent assez violent. Quand les premiers cristaux de glace paraissent, la surface de l'Océan ressemble, dit ce savant observateur, à celle d'une mer trop froide pour fondre la neige qu'en y aurait jetée. C'est ce que les marins nomment *studge* (saleté). La mer houleuse est tout d'un coup apaisée, comme par l'huile que l'on répand sur une surface liquide agitée. Le mouvement des vagues brise cependant les cristaux en plusieurs fragments de trois pouces au plus de diamètre. Ces morceaux, tout en augmentant, sont constamment heurtés les uns contre les autres, arrondis et relevés par leurs bords; ils se soudent encore, jusqu'à ce qu'enfin ils puissent atteindre un pied d'épaisseur sur plusieurs brasses de circonférence. Quand la mer n'est pas agitée, les progrès de la congélation sont plus rapides et la glace augmente aussi par la surface inférieure. Si le froid est intense, elle peut atteindre l'épaisseur de deux à trois pouces en 24 heures et soutenir le poids d'un homme en moins de 48. On conçoit alors qu'un mois de gelée continue puisse produire d'immenses champs de glace.

Il paraît cependant, au moins pour les glaces du pôle boréal, que plusieurs d'entre

elles se forment près des terres et quelquefois même sur la terre, et que les grands champs de glace que l'on rencontre à de hautes latitudes ont du moins une origine qui n'est pas entièrement marine.

Voici la théorie qu'en donne M. Scoresby : « Il est à peu près certain que les vents doivent séparer les glaces du Nord par les courants irréguliers qu'ils occasionnent. Les ouvertures sont gelées de nouveau en peu de temps; il s'y forme une couche mince de glace nouvelle. La neige, qui généralement couvre ces masses jusqu'à la hauteur de deux à trois pieds, se fond vers la fin de juin et dans le mois de juillet; mais l'eau qui en provient ne pouvant arriver à la mer, puisque la glace nouvelle s'est soudée à l'ancienne, est retenue d'abord, gelée ensuite peu de temps après, et augmente ainsi la hauteur du champ de plusieurs ponce. Ceci répété pendant plusieurs années, conjointement avec l'augmentation de la glace par-dessous, doit être suffisant pour produire les masses les plus étendues, et une glace dense et transparente comme l'est en général celle des champs. »

On distingue des champs de glace dont nous venons de parler, les *montagnes de glace*, qui sont loin d'avoir une aussi grande étendue, mais qui sont beaucoup plus épaisses, ainsi que l'indique leur dénomination. Elles sont souvent situées sur la terre, à l'extrémité des vallées qui viennent déboucher dans la mer, et elles offrent, de ce côté, un escarpement parfois très-considérable, tandis que, du côté des terres, elles s'enfoncent à des distances que l'on n'a pu déterminer. Ce sont les glaciers des régions polaires, qui arrivent jusqu'à la mer, où ils viennent se précipiter. Ces glaciers bouchent entièrement les vallées, comme cela a lieu aux sept montagnes, sur la côte nord-ouest du Spitzberg. Il règne sur cette côte un escarpement de glace, qui a plus de trois cents pieds de hauteur, et qui forme un contraste remarquable avec la blancheur des grandes masses de montagnes neigeées, qui s'élèvent les unes au-dessus des autres en perspective infinie.

La pression exercée par l'accumulation des glaces, la marche progressive du glacier qui glisse sur un sol incliné, les fissures de la

masse et la dilatation de l'eau qui s'y congèle, sont autant de causes qui doivent contribuer à verser dans la mer ces énormes fragments que l'on y voit flotter, et que quelques navigateurs ont marqués sur les cartes comme de véritables îles. On en voit, en effet, dont les dimensions sont énormes. Le capitaine Wafer en cite de 500 pieds de haut, et si l'on se rappelle leur pesanteur spécifique, on jugera quelle énorme masse doit être cachée sous les eaux, puisqu'un dixième seulement s'élève au-dessus des flots. On en a vu chargées de grosses pierres et d'arbres déracinés; on en vit même sur lesquelles des oiseaux avaient construit leurs nids. De petits lacs d'eau douce existent souvent sur ces masses de glace et sont de la plus grande utilité aux marins qui vont y faire de l'eau.

Les plus grandes de ces montagnes de glace ne sont pas du côté de l'Europe, mais dans le détroit de Davis, dans la baie de Baffin, et sur les côtes du Groënland. M. Scoresby pense que, malgré la glace douce dont elles sont formées, ces montagnes peuvent prendre naissance dans la mer, dans les lieux où il n'existe pas de courants pour les entraîner. Il croit qu'elles peuvent se former dans des baies bien abritées des vents, de la même manière que les champs, par l'accumulation des neiges fondues et gelées de nouveau, qui peut-être ont exigé un grand nombre de siècles pour s'élever à une hauteur si prodigieuse.

Un caractère remarquable de toutes ces glaces est d'être extrêmement fragiles; ainsi le mouvement des vagues, qui fait fléchir une couche mince qui s'étend à la surface de la mer, brise en un instant et avec un fracas épouvantable les champs de glaces dont nous avons parlé. Les montagnes surtout deviennent d'une fragilité inconcevable, quand la température de l'air a dégelé leur surface. On en voit se fendre dans toute leur hauteur, pour avoir été simplement frappées, d'un coup de hache par un matelot qui voulait y fixer une ancre. Les pièces de la montagne se précipitent alors avec bruit, et le malheureux disparaît avec le bateau brisé et déchiré sous ces ruines glacées. Si la hache ne produit pas de fente, le bruit se propage dans toute la longueur de la glace, et indique la tendance qu'elle a de se briser. Souvent on y observe

des fentes naturelles comme celles des glaciers des Alpes.

De la situation des glaces polaires.

Les glaces amoncelées aux deux pôles de la terre ont des limites comme les glaciers et les champs de neige de nos montagnes, mais ces limites sont loin d'être les mêmes à l'extrémité boréale ou australe du globe. On sait qu'elles sont bien moins étendues au nord qu'au midi.

Dans l'hémisphère nord, les limites actuelles des glaces sont les suivantes : Depuis le promontoire le plus austral du Groënland, la ligne des glaces s'élève vers le nord-est, embrasse l'Islande, et va monter vers l'île Jean-Mayer (latitude 71° , longitude $3^{\circ} \frac{1}{2}$ ouest *Greenw.*). Elle laisse cette île dans le nord-ouest, mais souvent aussi elle l'enveloppe ; puis elle tourne un peu plus à l'est, et coupe le méridien de Londres entre 71° et 72° . Ayant atteint 6° , 8 ou 10° de longitude, elle tourne tout à coup droit vers le nord, et s'élève quelquefois sans interruption jusqu'à 80° de latitude. D'autres fois, elle ne monte que de 2 ou 3 degrés, et tourne ensuite vers le sud-est et vers l'île aux Ours, puis elle se dirige est-sud-est, jusqu'à ce qu'elle atteigne la côte de la Nouvelle-Zemble ou de la Sibérie. La baie profonde que la glace forme aussi au sud-ouest du Spitzberg, est le seul endroit par lequel on puisse tenter de s'élever à des latitudes très-boréales. Lorsque la glace, au fond de cette baie, a une consistance assez forte pour empêcher d'avancer vers le Spitzberg, au delà de 74 ou 75 degrés, les marins disent que la saison est *fermée* ; elle est *ouverte* dans le cas contraire. Alors il existe un long canal d'eau entre la terre et la glace. Sa largeur est de 20 à 30 lieues, et il conduit jusqu'au 79° ou 80^{me} degré. Il se rétrécit toujours de plus en plus en se dirigeant vers le nord, et ses bords finissent enfin par se combiner avec les parties nord-ouest du Spitzberg. Dans une saison ouverte la glace continue, recommence au promontoire le plus austral du Spitzberg, va descendre à l'île des Ours, puis poursuit son cours vers l'est jusqu'à la Nouvelle-Zemble. Il s'en faut de beaucoup que cette ligne soit uniforme dans toute sa longueur. On y ren-

contre assez souvent des baies, et même des bras de mer, qui ont depuis quelques toises jusqu'à plusieurs milles de largeur, mais la seule échancre constante, qui existe dans la glace est la baie dirigée vers le Spitzberg, et par laquelle les baleiniers tâchent d'arriver à leur station de pêche.

Le pôle austral est recouvert d'une bien plus grande quantité de glaces que le pôle nord. Elles s'étendent à 18 et même à 20 degrés. Les navigateurs n'ont guère pu pénétrer au delà du 71° , et cela en un seul point, au nord-ouest de l'extrémité de l'Amérique ; car ailleurs les glaces s'étendent presque partout jusqu'au 60° parallèle. Elles dépassent par conséquent le cercle polaire, qu'elles n'atteignent pas dans l'hémisphère opposé. Les glaces qui, dans l'hémisphère sud, s'étendent le plus du côté de l'équateur, se trouvent précisément vis-à-vis les mers les plus étendues, et les terres les plus éloignées du pôle, au point qu'on en trouve encore aux 48° et 49° parallèles, sur une étendue de dix degrés en longitude à l'ouest, et tout l'espace entre le 50° et le 60° degré de latitude est rempli de glaçons brisés, dont quelques-uns forment des îles d'une grandeur considérable.

On trouve aussi des plaines et des îles de glace sous le 49° parallèle, à 60° de longitude est du méridien de Paris, et un plus grand nombre encore à 80 et 90° de longitude, sous la latitude de 58° ; on en rencontre beaucoup dans tout l'espace situé depuis le 90° jusqu'au 143° longitude est.

La terre de Sandwich, située par 59° de latitude, et l'île Georgie par 53° , sont les terres qui s'avancent le plus vers le pôle austral, mais elles sont séparées des glaces éternelles, qui viennent seulement échouer sur leurs côtes. Les dernières terres habitables de cet hémisphère sont donc la Nouvelle-Zélande, la pointe de la Nouvelle-Hollande, et l'extrémité de l'Amérique méridionale ou la terre de Magellan, dont la température est bien plus basse que celle des terres situées sous les mêmes parallèles, dans l'hémisphère opposé. Aussi les glaces australes occupent une étendue six fois plus grande que celles du Nord.

C'est sans doute à l'absence des terres qu'il faut attribuer cette différence dans la situation

et l'étendue des glaces polaires de cet hémisphère ; car nous voyons les glaces se reculer quand les terres avancent, et s'avancer au contraire si elles s'éloignent. La même chose se présente dans le Nord, où le Spitzberg forme une pointe vers le pôle et semble reculer aussi cette ceinture glacée, qui s'avance bien plus loin dans les mers libres qui séparent l'Asie de l'Amérique. Peut-être la proximité du Gulf-Stream, dont les eaux conservent toujours une température élevée, contribue-t-elle aussi à réchauffer la mer qui sépare l'Amérique de l'Europe. Cette dernière, placée en face de ce golfe aux bords glacés, est séparée par une mer libre des glaces polaires, et jouit d'une température bien plus douce que l'Amérique, dont les côtes septentrionales servent d'appui à d'énormes glaciers.

Mouvements des glaces polaires.

Nous avons vu, en parlant des glaciers des montagnes, qu'ils avaient un mouvement de translation bien marqué. Il semble naturel d'admettre aussi ce mouvement pour les glaces des pôles. Cette supposition paraît d'autant plus vraisemblable, qu'il se dépose continuellement de la neige aux extrémités du globe, comme il en tombe sur les sommets des montagnes. Cependant on ignore encore si la glace qui se forme exactement sur les pôles descend ensuite jusque dans les mers libres où on la rencontre ; on pourrait même avec quelque raison soutenir le contraire. Ainsi les champs de glace naissent, comme nous l'avons vu, dans les baies et les golfes par l'accumulation des neiges, peut-être aussi par la superposition continue de l'eau des fleuves, qui vient s'y épancher, qui se congèle et qui peut, dans certaines années, être enlevée par un débordement ou par l'action d'une température plus douce. Les montagnes de glace elles-mêmes, à part les petits fragments qui se détachent des glaciers des vallées du Spitzberg et des terres polaires, peuvent aussi, comme les champs, être créées aux dépens des eaux salées, en sorte qu'il n'est nullement prouvé que les glaces éternelles marchent comme celles des montagnes. On n'a acquis cette certitude que pour les glaciers qui se rencontrent sur quelques points extérieurs des terres arctiques.

Lors même qu'on admettrait cette supposition pour le pôle nord, il faudrait bien convenir que les glaces du pôle austral se forment sur le pontour de la coupole aux dépens des eaux de la mer, puisque, selon tout apparence, aucune terre ne leur sert de support et aucune vallée ne peut contenir ces glaciers.

Quelques personnes ont même supposé que les glaces ne formaient pas deux coupes sur les pôles de la terre, mais deux ceintures de largeur inégale, au delà desquelles se retrouvent des mers libres et navigables. On ne saurait admettre une telle idée, qui n'est basée sur aucun fait véritable ; il est bien plus probable que les glaces sont groupées autour des pôles glacés du globe, qui ne sont pas, comme nous l'avons vu, en nous occupant de la météorologie, les mêmes que les pôles géographiques. Quo ce soit la présence des terres qui, en en modifiant la température, ait déterminé la position de ces pôles, la chose est possible ; mais tout porte à croire qu'ils sont couverts de glaces solides et éternelles.

Si l'on ne sait rien sur le centre de ces coupes glacées, on n'ignore pas que leurs bords sont doués d'un mouvement très-sensible, et qu'ils avancent comme ceux des glaciers. On croit même que les glaces du pôle nord s'étendent, et l'on cite les côtes du Vieux-Groënland autrefois habitées, maintenant inaccessibles et cachées sous d'énormes glçons. Peut-être sommes-nous dans une de ces périodes où les glaciers du nord avancent comme ceux des vallées de la Suisse ; peut-être viendra-t-il une époque où on les verra rétrograder. De grandes oscillations, en rapport avec l'étendue des phénomènes, peuvent avoir lieu à notre insu, et notre courte existence nous fait considérer comme éternelles quelques modifications passagères.

Il arrive pourtant aux glaces polaires de se fondre sur les bords, de se briser en fragments, et de s'éloigner continuellement du lieu de leur production. Ainsi les champs de glaces, dès qu'ils sont détachés, commencent à se diriger vers des latitudes plus basses. C'est pendant l'été que les grands mouvements de glaces s'opèrent. Ce sont des débâcles analogues au dégel des fleuves, mais dont les

causes et les effets se montrent sous de gigantesques proportions. Aux mois de juin et juillet pour l'hémisphère nord, pendant ceux de février et mars pour l'hémisphère sud, on voit les masses de glaces avancer vers des régions plus chaudes et fondre en flottant sur l'Océan. Elles paraissent rarement au 40° degré de latitude, quoique l'on en ait vu quelquefois sous ce parallèle. Il est rare cependant de les rencontrer aussi bas dans la partie nord de la terre.

Un grand nombre de champs de glace paraissent au nord dès le mois de juin, et sont détruits par le mouvement qui les entraîne au sud-ouest, même par les temps les plus calmes et malgré des vents contraires. On les a vus souvent, dit M. Scoresby, avancer de plus de 100 milles dans cette direction pendant le courant d'un seul mois. Lorsqu'ils ont percé les pièces de glaces séparées, qui jusque-là les protégeaient, les vagues de la mer ouverte les brisent, les dissolvent et en font des glaces flottantes; d'autres champs prennent leur place. C'est sur ces plaines que les ours blancs font leurs voyages de mer. Ils s'avancent peut-être plus loin que les vaisseaux.

« Rien de plus sublime et de plus effrayant dans ces régions, continue cet intrépide marin, quo l'effet des mouvements accidentels des champs de glace. On les voit tourner avec une vitesse de plusieurs milles par heure. Une telle masse, quand elle touche un champ en repos, ou mieux encore, quand elle est arrêtée par un champ qui est mou dans une direction contraire, produit un choc dont l'effet surpasse tout ce que l'imagination pourrait inventer. Une masse du poids de dix millions de tonnes arrêtée dans sa course! qu'on s'en représente les suites! Le champ le plus faible est entièrement détruit avec un bruit horrible. Des pièces de dimensions énormes sont élevées les unes contre les autres à la hauteur de 20 ou 30 pieds; d'autres, au contraire, sont submergées. »

La glace a toujours une grande tendance à se mouvoir et à se disperser. Il semblerait qu'il existe une force répulsive entre ses fragments; aussi quand la glace pesante ou vieille glace vient à se séparer par le dégel de la jeune glace ou glace légère, qui en liait

les fragments comme une sorte de brèche, les blocs sont aussitôt dispersés, même dans les temps les plus calmes, et les vaisseaux qui, quelques heures auparavant, étaient enclavés dans la glace, trouvent tout à coup une mer ouverte et nettoyée.

Les montagnes de glace sont loin d'avoir la mobilité des champs et des fragments qui résultent de leur choc ou de leur soudure; elles restent souvent un grand nombre d'années sans changer de place. Ainsi, deux îles de glaces se sont fixées depuis un demi-siècle dans la baie de Disco, et les baleniers hollandais leur ont imposé des noms. Souvent les navires s'abritent près de ces montagnes flottantes, que les vents et les courants entraînent difficilement. Ils ont soin cependant de se garer près de celles qui ne sont pas trop élevées; car si elles sont délicatement équilibrées, un léger accident les fait tourner, et si en se déplaçant elles rencontrent dans le fond un obstacle qui les arrête, elles se fendent avec le bruit du tonnerre, et ce qui n'est pas écrasé sous leurs débris est englouti sous l'énorme lanio à laquelle cette chute a donné naissance.

Il arrive cependant aussi aux montagnes d'être entraînées par des courants, ce qui a toujours lieu pour les autres espèces de glace.

M. Wrangel, chargé par le gouvernement russe de compléter la reconnaissance de la mer Glaciale, a reconnu un singulier mouvement dans ces amas de glaces dont cette mer est couverte. Pendant un séjour de trois ans dans ces parages, il a vu que les neiges accumulées pendant de longs et rigoureux hivers ne s'y fondent point en entier par la chaleur d'un été très-court. Les circonstances y sont les mêmes que dans les hautes montagnes où il se forme des glaciers; les débordements extraordinaires des fleuves doivent entraîner de grandes masses de ces neiges superposées, pendant plusieurs années et consolidées par la demi-fusion qu'elles ont éprouvée en été. Elles s'entassent vers l'embouchure des courants qui les ont arrachées et transportées, parviennent ainsi dans une mer libre à cette époque, et subissent l'action des vents et des tempêtes, jusqu'à ce que l'hiver les fixe à une place où elles resteront pendant toute cette saison. Aux approches du

froid, ces masses flottantes sont environnées presque subitement d'une couche immense de glace qui couvre bientôt toute la surface de la mer, à l'exception de quelques espaces qui résistent à la congélation. Ces espaces sont quelquefois des lacs assez petits; mais on en voit aussi de très-grands, et M. Wrangel a suivi, sur une étendue de plus de 400 lieues, les bords du plus grand de tous sans en découvrir les limites.

On serait porté à penser que la surface des eaux est presque immobile dans les petits lacs; qu'elle n'y éprouve d'autre agitation que celle qu'on voit sur toute autre pièce de même étendue; il n'en est cependant pas ainsi. Les grandes oscillations de l'Océan se communiquent par-dessous les glaces, rompent cette croûte superficielle, entraînent les fragments jusqu'aux lieux où ils peuvent parvenir à la surface, et c'est là que l'on voit sortir du sein de l'Océan ces montagnes de glaces de nouvelle formation, dont un prodigieux bouillonnement précède et annonce l'apparition. Les Yakoutes nomment *polinies*, ces places où la mer n'est pas gelée, quoique entourée de glace. Les plus petites sont précisément celles où l'on a le plus souvent le spectacle de ces éruptions si différentes de celles des volcans; et non moins dangereuses pour le navigateur, qui fait voguer son canot sur ces ondes perdues, tandis que la tempête gronde au loin. Pour avoir une idée exacte de cette navigation, il faudrait pouvoir se représenter ces régions affreuses, leurs glaces, leurs neiges et leurs brumes, par un froid de plusieurs degrés au-dessous de la congélation du mercure, et cependant une eau liquide et un canot qui parcourt son étendue et des hommes qui ont fixé leurs demeures près de ces dernières limites de la nature vivante! et des savants qui vont les visiter!

L'eau qui se congèle autour des polinies dépose du sel sur leurs bords, mais pourtant, d'après les observations de M. Wrangel, la glace en retient une petite quantité.

Les glaces polaires, dès qu'elles sont séparées du continent glacé, auquel elles semblent adhérer dans le principe, ont toutes un mouvement de translation très-marqué qui les éloigne du pôle. Il est quelquefois très-difficile de reconnaître ce mouvement, à

cause de l'étendue des champs de glace, dont on ne voit pas toujours les limites, et aussi parce que différentes masses de glace, marchant dans la même direction et avec des vitesses presque semblables, ne donnent aucune indication du mouvement. Le capitaine Parry fit une triste expérience de cette dérivation des glaces.

Le 26, vers midi, dit ce célèbre marin, le ciel fut sans nuages et l'on put prendre la hauteur du soleil. On trouva que la latitude était de $82^{\circ} 40' 25''$; ainsi, depuis le 22, quoique nous eussions, suivant nos calculs, parcouru 19 milles (environ dix lieues) vers le nord, nous avions rétrogradé de 5 milles (une lieue) vers le sud. La dérive des glaces nous entraînait donc en sens contraire plus vite qu'il ne nous était possible d'avancer vers notre but. Il paraît que le mouvement des glaces vers le sud était au moins de 4 milles par jour.

Malgré ces mouvements continuels, il y a aussi de temps en temps des débâcles des glaces polaires, et c'est à un phénomène de ce genre qu'il faut attribuer la température extraordinaire de 1816. De vastes masses glacées, en avançant vers le sud, avaient refroidi toute la zone tempérée de l'hémisphère boréal.

En 1818, on trouvait encore de grandes masses de glace par 41° et 42° de latitude nord. Des journaux anglais ont même assuré que certaines masses avaient gagné les mers tropicales, et qu'on en avait vu près du canal de Bahama. Ces montagnes étaient quelquefois très-considérables, et leur base atteignait une grande profondeur. En approchant du pôle, on les voyait souvent marcher dans des directions contraires. Les unes, peu volumineuses, étaient poussées par les vents; d'autres, profondément enfoncées dans la mer, étaient entraînées par des courants inférieurs, en sens contraire des premières. Leur vitesse était en général peu considérable.

Le 20 janvier 1818, le bâtiment du capitaine W. Dayment se trouva, le matin, tellement pris dans les glaces, qu'on n'apercevait aucune issue, même du haut des mâts. La glace, dans toute cette étendue, s'élevait d'environ 14 pieds au-dessus de la surface

des eaux. Elle se mouvait vers le sud-est, et entraîna le bâtiment dans cette même direction pendant 29 jours consécutifs. Le 17 février, le capitaine Dayment, se trouvant alors par 44° 37' de latitude nord, aperçut une issue vers le sud-est et parvint à se dégager. Depuis le 20 janvier jusqu'au 3 février, le bâtiment faisait à peu près une lieue et $\frac{1}{2}$ par jour; mais à partir du 3 février jusqu'au 17 de ce mois, la vitesse était d'une lieue en trois heures.

Une débâcle extraordinaire a eu lieu, en 1829, dans les glaces du pôle antarctique. Dès la fin d'avril, des navires anglais ont rencontré, à cent lieues du cap de Bonne-Espérance, des glaces flottantes d'une énorme grandeur. Le bâtiment de la compagnie des Indes, le *Farquharson*, étant par 39° 13' de latitude, et 48° 46' de longitude, vit deux montagnes de glace hautes de 150 pieds et ayant deux milles de circonférence. Leurs flancs étaient profondément fissurés, et offraient, dans des endroits, l'aspect brillant

que présente le sucre raffiné, tandis que dans d'autres, ils avaient l'apparence d'un rocher calcaire, ou celle que l'on observe dans les falaises d'une terre très-élevée. Ces montagnes étaient environnées de bancs de glace qui paraissaient en être des fragments détachés et sur lesquels la mer se brisait avec fureur ¹.

On voit que des causes qui nous sont inconnues amènent encore de grandes révolutions à la surface du globe. Deux énormes fleuves descendent des coupoles de glaces qui rendent inhabitables les deux points opposés de notre monde. Ils entraînent avec eux les fragments de ces continents que le froid rend solides, et vont ainsi rafraîchir les mers des tropiques. Peut-être la grande accumulation des glaces australes compense-t-elle, en partie, l'absence de véritables continents dans cet hémisphère.

¹ *Annales de chimie et de physique*, t. XLII, p. 418.

ÉLÉMENTS DE GÉOLOGIE

ET

D'HYDROGRAPHIE.

Seconde Partie.

DE LA GÉOLOGIE.

CHAPITRE PREMIER.

DE LA SURFACE EXTÉRIEURE DU GLOBE.

Nous savons déjà que les parties émergées de la terre sont à la surface des eaux dans le rapport de 1 à 4, ou peut-être plus exactement de 2 à 3, et nous avons vu que la majeure partie des continents se trouvaient situés dans l'hémisphère nord. Nous pourrions aussi partager le globe d'une autre manière, en deux demi-sphères, dont l'une contiendrait une grande partie des eaux, et l'autre presque toutes les terres. Car les grands continents sont réunis entre les méridiens de 10° à l'ouest et de 150° à l'est de Paris, tandis qu'un hémisphère aquatique commence à l'occident du méridien des côtes du Groënland, et finit à l'orient des côtes orientales de la Nouvelle-Hollande et des îles Kariles. A la vérité, il peut se faire que des

continents étendus aient existé dans ces mers. Peut-être de vastes terres asiatiques, situées sous l'équateur, ont-elles entièrement disparu comme la grande île Atlantique, dont les hommes ont conservé le souvenir. Nous reviendrons plus loin sur ces vieilles pages de l'histoire du globe.

Les continents et les îles s'élèvent au-dessus de la mer, mais d'une quantité bien petite, si nous comparons cette élévation au diamètre de la terre. Car si nous voulions les marquer en élévation sur un globe de 18 pouces, il suffirait de découper des morceaux de papier qui, collés sur ce globe, nous indiqueraient les saillies de nos terres et de nos empires, dont les plus petits grains de sable

marqueraient les plus hautes montagnes.

Deux causes semblent avoir concouru à la création des continents : l'abaissement des mers et le soulèvement du sol. Mais dans l'état actuel, notre planète nous offre deux grandes masses de terres, désignées sous les noms d'*ancien* et de *nouveau* continent. Nous ne nous attacherons pas ici à décrire leurs formes, car une description minutieuse en donnerait une idée très-inexacte, tandis que l'inspection d'une bonne mappemonde en apprendra sur-le-champ plus que nous ne pourrions dire en un long chapitre.

Tout le monde sait que l'Asie et l'Europe, auxquelles l'Afrique est réunie par une petite langue de terre, composent l'ancien monde, qui est entièrement séparé du nouveau par ses deux extrémités.

Le nouveau continent se compose de deux vastes espaces réunis aussi par un isthme, et qui s'étendent en longueur plutôt qu'en largeur. Il est formé des deux Amériques.

La plupart des îles se rattachent à ces continents, et s'y réuniront peut-être un jour définitivement. Les archipels sont probablement ces continents naissants dont les montagnes seulement s'élèvent à présent au-dessus des flots.

En Europe, les îles les plus considérables sont dans l'Océan : C'est l'Angleterre, l'Irlande et l'Islande. La Méditerranée renferme, du couchant au levant, Majorque, Minorque, la Sicile, Malte, Candie et Chypre.

Les îles de la mer d'Asie sont : les Maldives, remarquables par leur multitude et formant une chaîne de montagnes sous-marines, dont tous les sommets se trouvent à découvert et sont d'une élévation à peu près égale; l'île de Ceylan, les îles de la Sonde, qui comprennent Sumatra, Java et Bornéo; les Moluques, la Nouvelle-Guinée, les Philippines, et plus au nord les îles du Japon, les Kouriles, et enfin les îles Aléoutiques qui forment une chaîne presque continue entre le Kamtschatka et l'Amérique.

Dans le vaste Océan équinoxial, qui sépare l'Asie de l'Amérique, on trouve la Nouvelle-Hollande et plusieurs archipels, comme la Nouvelle-Calédonie, la Nouvelle-Zélande, les îles d'Otaïti et de la Société, les îles Sandwich, etc. On a groupé toutes ces îles autour

de la Nouvelle-Hollande, et les géographes ont été heureux de créer une cinquième partie du monde, sous le nom d'*Océanie* ou de *Polynésie*.

Autour de l'Afrique sont les Canaries, les îles du Cap-Vert, l'île de Madagascar, qui, par son étendue, formerait un empire; les îles de France et de la Réunion, etc.

Les îles de l'Amérique sont, Terre-Neuve, qui est d'autant mieux nommée, qu'elle semble un produit récent des atterrissements du fleuve Saint-Laurent; les îles de Cuba, de Saint-Domingue, qui sont très-étendues; la Jamaïque, les Antilles, la Trinité; et enfin, à l'extrémité de l'Amérique méridionale, la Terre-de-Feu célèbre par le détroit de Magellan, qu'elle accompagne dans toute sa longueur (environ 200 lieues), et qui fut formé par les courants généraux d'orient en occident; ces courants s'y font encore sentir habituellement, et portent dans la mer Pacifique une partie des eaux qui viennent du côté de l'Afrique, frapper contre les côtes orientales de l'Amérique.

Les îles, comme les continents, sont bien loin d'offrir une surface plane. Elles ne sont que la continuation du fond des mers que nous savons être très-inégal, et par conséquent de nombreuses différences de niveaux doivent aussi se faire remarquer sur les terres découvertes. De là les noms de *montagnes* et de *vallées*, pour désigner d'une manière générale les points élevés et l'espace qui les sépare. Si les points élevés, au lieu de se terminer en pointe et d'être isolés, sont réunis et forment un massif, la partie supérieure prend le nom de *plateau*; et lorsque les vallées, au lieu d'être formées par deux pentes qui viennent se joindre sous un certain angle, sont étendues et à fond plat, on les désigne sous le nom de *plaines*. Ces termes s'emploient ici dans un sens général, car nous verrons qu'il existe une foule de dénominations particulières pour préciser diverses modifications des montagnes, des vallées, et des plaines situées à différents niveaux.

DES MONTAGNES.

Les montagnes sont des points plus élevés que ceux qui les environnent, et dont la plus

grando banteur, pour notre planète, atteint tout au plus 8,000 mètres au-dessus du niveau de la mer. C'est la 1,600^{ème} partie du diamètre de la terre; ce serait la hauteur d'un 20^{ème} de ponce sur un globe de 16 pieds. Ces dimensions, qui ne sont rien pour la nature, sont effrayantes pour nous. Les animaux et surtout les végétaux se groupent par zones sur les pentes de ces rugosités de la terre, et leurs sommets couverts de glaces éternelles; rappellent l'image de la mort et des glaces polaires.

Il est rare que des montagnes atteignent une si prodigieuse élévation, car celles qui s'élèvent à 4,000 mètres, c'est-à-dire à la moitié de la hauteur que nous venons de citer, sont encore considérées comme très-hautes; quand elles s'abaissent beaucoup, on les nomme *collines*.

Rien de plus varié que la forme des montagnes. Leur structure, leur composition, leur hauteur, l'inclinaison de leurs pentes et une foule d'autres circonstances influent sur leur configuration. Tantôt ce sont des cimes élançées et inaccessibles, formant des crêtes dentelées, se divisant en aiguilles ou en obélisques; tantôt ce sont des pics réguliers qui se terminent en une pointe plus ou moins étroite; ou bien l'on voit des cônes scorifiés à pentes douces ou escarpées, terminés par des cratères ou des sommets tronqués; ce sont des *pays* ou des cônes volcaniques. D'autres fois ce sont des dômes ou des cloches, que l'on désigne aussi sous le nom de *ballons*. D'autres ont la forme de cornes, de colonnes, d'édifices ruinés; enfin plusieurs d'entre elles présentent de grossières ressemblances avec des statues colossales, des animaux ou plusieurs autres objets dont elles empruntent les noms.

Nous venons de voir les formes des sommets, celles des bases sont moins variées. Le plus souvent c'est un ovale irrégulier ou un polyèdre placé obliquement sur le sol. Une base peut se rennir à d'autres, offrir des angles nombreux, indices de petites vallées qui sillonnent les flancs de la montagne. Les vallées peuvent offrir des pentes douces ou rapides, se trouver nues ou couvertes de nombreux végétaux; elles peuvent être cachées par des éboulements ou offrir des escarpo-

ments verticaux, du sommet desquels s'élancent des ruisseaux qui se changent en cascades. D'autres fois elles sont étagées et simulent d'immenses gradins que l'on ne franchit souvent qu'avec peine.

Il est très-rare que les montagnes soient isolées, comme nous venons de le supposer. Cela arrive cependant pour celles qui sont volcaniques, pour certains *ballons* et pour quelques éminences formées de roches dures qui ont résisté aux causes d'érosion qui ont détruit les montagnes voisines. Le plus ordinairement les montagnes sont réunies et forment des groupes plus ou moins étendus et diversément arrangés, ou des chaînes simples, doubles ou croisées, et l'on en voit de si longues, qu'elles traversent des continents entiers. Leurs sommets dentelés s'abaissent quelquefois, et laissent quelques passages que l'on appelle *cols*, tandis que la ligne de faille séparant les eaux comme l'arête d'un toit, sert de limite à des bassins hydrographiques.

Les neiges s'accumulent sur ces hautes sommets, des glaciers descendent dans les vallées latérales; les nuages s'amoncellent autour des cimes qui les attirent, ou flottent dans les hautes vallées. De nombreux végétaux, s'étendant sur des pentes uniformes ou ravinées, étalent leurs flours près des glaces éternelles et contrastent, par leur feuillage léger et découpé, avec ces lourdes masses qui leur servent de point d'appui. Des gorges, des crevasses mettent à découvert la nature du sol, et le naturaliste passe des jours, des mois, des années à contempler toutes ces merveilles. Celui qui, par zèle, a visité les montagnes, qui, dans sa jeunesse, a admiré ces sites magnifiques que présentent les hautes régions du globe, ne peut plus s'en arracher, et si, dans sa vieillesse, il demande au ciel quelques années d'existence, c'est qu'alors seulement il reconnaît toute son ignorance des grandes œuvres de Dieu, et voudrait pouvoir les admirer encore.

Les chaînes de montagnes, considérées en général, n'ont aucune direction déterminée. Elles rident le sol dans tous les sens, se croisent quelquefois, et semblent même offrir des ondulations, s'abaissent, puis se relèvent successivement quand elles sont très-longues.

On en voit qui marchent parallèlement, ou bien qui sont flanquées de chaînes plus petites qui finissent par se transformer en collines, puis en simples ondulations du sol, qui se confondent avec les plaines. C'est ce qui arrive souvent pour les montagnes groupées, dont le centre est occupé par les plus hautes, tandis que le terrain semble soulevé tout autour, jusqu'à une certaine étendue.

Dans les chaînes il y a ordinairement un versant dont la pente est très-douce et se prolonge au loin, tandis que l'autre est escarpé et diffère beaucoup de celui qui lui est opposé. Ce caractère n'est cependant pas général; car certaines chaînes ont les deux versants très-adoucis des deux côtés.

Tous les continents offrent des montagnes réunies en groupes ou en chaînes plus ou moins étendues.

L'Europe présente les Alpes qui s'étendent sur un grand espace, et dont le sommet le plus élevé est le mont Blanc qui atteint 4,754 mètres; les Pyrénées qui forment une large ligne sur l'isthme qui sépare la France de la péninsule ibérique: sa cime la plus élevée est la partie orientale de la Maladetta, dont la hauteur est de 3,481 mètres; les monts Krapacs qui sont en Pologne et s'étendent à l'est de la Moravie et au nord de la Hongrie; l'Apennin en Italie; les Vosges, les Cévennes, les montagnes du centre de la France, les Ardennes.

En Afrique, les montagnes les plus considérables et les plus célèbres sont les monts Atlas et les montagnes de la Lune. La première chaîne, fort élevée, s'étend d'occident en orient depuis l'Océan Atlantique jusqu'à une certaine distance de l'Égypte. Sa cime est ordinairement couverte de neige. Les montagnes de la Lune environnent le Monomotapa, et se prolongent assez loin au midi; elles sont aussi couvertes de neige, quoique situées sous la zone torride. Dans la Guinée se trouvent celles de Sierra-Leona. La pointe méridionale de l'Afrique est aussi couverte de longues chaînes de montagnes fort élevées, dont les plus remarquables sont celle de Lupa, et ensuite celles qui ceignent le cap de Bonne-Espérance, telles que la montagne de la Table, celles du Diable, du Lion, etc.

L'Asie nous offre les montagnes les plus

hautes du monde, qui se trouvent dans la chaîne des monts Himalaya. L'une d'elles dépasserait l'énorme hauteur de 8,000 mètres; c'est-à-dire deux lieues de poste en hauteur au-dessus du niveau de la mer. On y voit aussi les montagnes d'Arménie, parmi lesquelles sont le mont Ararat, les Gates, le Caucase, l'Oural qui sépare l'Asie de l'Europe.

L'Amérique est relevée de hautes montagnes qui appartiennent presque toutes à une chaîne immense, la Cordillère des Andes, qui la traverse en son entier, et qui a reçu différents noms, selon sa position. La plupart des autres montagnes viennent s'y rattacher par quelque chaînon. Des sommets très-élevés se détachent de cette longue série; tel est le Chimborazo qui atteint 6,372 mètres¹, et qui a passé longtemps pour la plus haute montagne du monde.

Si les montagnes du continent américain ont perdu cette prérogative, elles forment du moins la masse la plus considérable qui existe. La chaîne des Andes s'approche presque également des deux pôles de notre globe. Ses extrémités n'en restent éloignées que de vingt-neuf à trente degrés de latitude. « Elle s'étend, dit M. de Humboldt, depuis les îlots placés au sud de la Terre-de-Feu, ou depuis le cap Horn jusqu'au mont St.-Elie, situé au nord-ouest du port Mulgrave, c'est-à-dire, depuis le 53° 38' de latitude australe jusqu'au 60° 12' de latitude boréale. Elle a 2,500 lieues de long sur 50 à 40 de large.

« L'élévation de la Cordillère des Andes est beaucoup plus inégale qu'on ne le croit communément. Il en existe des parties dans l'hémisphère austral, entre le Chimborazo et Loxa, dont la crête n'excède pas la hauteur du St.-Gothard; il en existe dans l'hémisphère boréal, dans l'isthme de Panama, près du Cupique, qui ne s'élèvent pas à deux cents mètres (100 toises); mais quatre fois la Cordillère atteint une masse et une élévation

¹ La vaste étendue de terrain que l'on peut découvrir de la haute cime des Cordillères aurait été pour M. de Humboldt, au point auquel il est monté vers la cime du Chimborazo, d'un diamètre de 87 lieues nautiques; elle aurait été pour M. Gay-Lussac de 100 lieues; mais les nuages et les vapeurs ont dérobé à tous deux la vue des basses régions. (Humboldt, *Géographie des plantes*, p. 155.)

colossales : sous le dix-septième degré de latitude australe dans le Pérou ; puis sous l'équateur même, dans le royaume de Quito ; une troisième fois dans le Mexique, sous le 19° degré de latitude boréale ; enfin, une quatrième fois vis-à-vis de l'Asie, sous le 60° degré de latitude. La hauteur des cimes excède celle du mont Blanc, et s'élève à cinq ou six mille mètres (2500 à 3000 toises). En général, la chaîne des Andes, même dans les hauts plateaux de Quito et du Mexique, peut étonner notre imagination, plus encore par sa masse que par sa hauteur.

La hauteur moyenne des hautes Andes, près l'équateur, en faisant abstraction des pics qui s'élancent au-dessus de la crête, est de trois mille neuf cents à quatre mille cinq cents mètres (2000 à 2500 toises) ; et la hauteur moyenne de la crête des Alpes et des Pyrénées est de deux mille cinq cents à deux mille sept cents mètres (1500 à 1400 toises). La largeur moyenne de ces dernières chaînes n'est que de dix à douze lieues nautiques, tandis que celle des Andes est, à Quito, de vingt, et au Mexique et en quelques parties du Pérou, de quarante à soixante lieues. Ces considérations sont plus propres à donner une idée exacte de la grande différence des masses des Andes, des Alpes et des Pyrénées, que la comparaison de leurs plus hautes cimes, qui sont de six mille trois cent soixante-douze mètres (3270 toises) ; de quatre mille sept cent cinquante-quatre mètres (2440 toises), et de trois mille quatre cent trente-quatre mètres (1764 toises) ¹.

DES VALLÉES.

Les vallées sont les espaces qui séparent les montagnes et dans lesquelles viennent se réunir les eaux pluviales qui tombent sur leurs flancs. Tantôt elles sont très-étroites, parce que les montagnes sont rapprochées ; d'autres fois elles ont une grande largeur, parce que les montagnes sont situées à de grandes distances. On voit donc qu'une vallée peut, dans certains cas, n'être qu'une véritable fente ou une crevasse, et dans d'autres se transformer en une plaine plus ou moins res-

serée. Ceci donne un nouvel exemple des difficultés que l'on éprouve chaque fois que l'on étudie la nature, lorsqu'on veut donner des définitions précises.

On a cru très-longtemps que les vallées avaient toutes été produites par les canx qui, descendant des montagnes, avaient peu à peu usé les points sur lesquels elles s'épauçaient, et avaient enfin fini par se creuser un lit profond. On faisait remarquer, pour soutenir cette opinion, la concordance qui existe souvent entre la nature des roches qui composent les deux côtés de la vallée, et l'on s'appuyait aussi sur le parallélisme des lignes anguleuses qui en déterminent les contours.

D'autres géologues ont prétendu, au contraire, que les vallées avaient été produites par des soulèvements, des tremblements de terre et de violentes secousses qui avaient fendu le terrain ou redressé ses couches de différentes manières. La similitude des deux versants leur servait, comme aux partisans de l'érosion, pour soutenir une thèse que l'on a généralement adoptée aujourd'hui. Cependant tous ceux qui recherchent sincèrement la vérité et qui ont un peu de pratique dans l'étude de la nature, se méfient, avec raison, des systèmes exclusifs. Ils reconnaissent bientôt que Dieu, ayant à sa disposition une foule de moyens divers pour arriver au même but, se servait des uns et des autres avec une sagesse bien supérieure à nos petites vues et à notre faible intelligence. Il y a donc des vallées produites par ces différentes causes, et souvent plusieurs d'entre elles concourent ensemble à les creuser.

Les grandes chaînes de montagnes sont séparées par de grandes vallées dont les pentes sont ordinairement très-douce, et dont le talweg ou la ligne la plus basse est occupée par une rivière ou par un fleuve. Ce sont des vallées *longitudinales*, et les montagnes qui les bordent ont souvent le plan des couches dont elles sont formées, parallèle à la direction de la vallée.

D'autres vallées viennent s'ouvrir dans celles-ci. Elles sont plus étroites, leurs pentes sont abruptes, leur longueur bien moins grande. Elles courent toujours à angles droits le plan des couches. Ce sont les vallées *transversales*.

¹ HUMBOLDT, *Géographie des plantes*, p. 117.

Ces deux sortes de vallées se rencontrent souvent dans les pays de montagne; ainsi l'on voit les unes et les autres dans les Alpes, et l'on ne rencontre guère que les secondes dans les Pyrénées.

Des cours d'eau descendent dans presque toutes les vallées. Ils y entraînent et y accumulent quelquefois des débris qu'ils arrachent aux sommets.

Des glaciers descendent aussi dans celles qui sont transversales, et amènent de volumineuses moraines à leur extrémité inférieure.

La forme des vallées varie singulièrement. Quelquefois elles commencent au sommet le plus abaissé des montagnes, c'est-à-dire, aux cols ou passages, et s'étendent en s'élargissant toujours, jusqu'à ce qu'enfin elles débouchent dans une plaine ou dans une autre vallée. On en voit qui, avec ces caractères, se rétrécissent tout à coup, se trouvant matriçées entre de hautes murailles qui les réduisent à une très-petite largeur, puis elles s'étendent encore pour se rétrécir ensuite, formant une série de bassins qui débouchent les uns dans les autres par des défilés très-étroits. Quelques-unes naissent au pied de hautes montagnes, qui s'élèvent escarpées au-dessus d'elles, et commencent brusquement avec une certaine largeur. On en voit même qui ont pour origine un cirque étendu, entièrement fermé par de grands escarpements et n'ayant qu'une seule ouverture qui donne issue aux eaux qui s'y rassemblent. On rencontre de ces vallées dans les Alpes, les Pyrénées, l'Auvergne, et dans la plupart des chaînes de montagnes.

On donne le nom de *cirques* à ces espèces de bassins où commencent certaines vallées, et celui de *gorges* ou *défilés* aux points resserrés qu'elles présentent. Ces cirques offrent des caractères très-intéressants et très-curieux à étudier. On les rencontre dans un grand nombre de lieux, avec des formes variées, mais se rapprochant toujours du cercle ou de l'ovale. M. Rozet a décrit ceux du Jura qui sont en grand nombre, et dont les bords s'élèvent jusqu'à 300 mètres. Il en existe de très-beaux dans les Pyrénées; tel est celui de Gavarnie et celui qui est encore occupé par le lac d'Oo. L'Auvergne en présente des exemples en miniature, au sommet de la vallée des

bains du Mont-Dore, à l'extrémité de la vallée de Chaudesfour, et dans plusieurs lieux du Cantal. Quelquefois ces cirques s'élargissent et forment alors de véritables plaines, limitées partout par des montagnes et offrant de fertiles bassins: Telle est la Limagne d'Auvergne; telle est aussi la Bohême et le grand cirque où se trouve la ville de Mexico.

Dans des circonstances tout à fait opposées, les vallées sont tellement resserrées qu'elles ressemblent à des fentes qui se seraient opérées brusquement; telles sont ces vallées étroites que des tremblements de terre paraissent avoir ouvertes dans les Andes: quelques-unes d'elles sont si profondes, au rapport de M. de Humboldt, que le Vésuve, le Schneekoppe de la Silésie, et le Puy-de-Dôme de l'Auvergne, pourraient y être placés sans que leur cime égalât la crête des montagnes qui bordent la vallée de plus près. Celle de Chota, dans le royaume de Quito, a quinze cent soixante-six mètres (804 toises); celle du Rio-Cutacu, au Pérou, a plus de treize cent soixante-quatre mètres (700 toises) de profondeur perpendiculaire: et cependant leur fond reste encore élevé d'une égale quantité de mètres au-dessus du niveau de la mer. Leur largeur n'est souvent pas de douze cents mètres (500 toises) *. Aux Pyrénées aussi la crevasse d'Ordessa, près du mont Perdu, a, selon Ramond, huit cent quatre-vingt-seize mètres (459 toises) de profondeur moyenne.

On voit par ce qui précède, que le fond des vallées est souvent fort élevé au-dessus de l'Océan, ce qui a toujours lieu dans les pays de montagnes; mais à mesure que les vallées s'abaissent pour s'ouvrir dans les plaines, et quelquefois dans la mer, on conçoit que leur fond doit suivre ce mouvement, et devenir à la fois horizontal et peu élevé au-dessus du niveau de l'Océan.

Ordinairement quand les vallées s'éloignent du point qui leur sert d'origine, leurs versants s'abaissent graduellement, et elles s'élargissent en même temps au point de ne plus offrir que de larges sillons au milieu des ondulations du sol.

De l'origine des vallées.

Les grandes crevasses que l'on voit dans

* HUMBOLDT, *Géographie des plantes*, p. 55.

les hautes montagnes semblent indiquer clairement leur origine ; on ne peut les attribuer qu'à des tremblements de terre, qui sans doute ont été autrefois plus violents qu'aujourd'hui. Elles retracent au géologue l'image d'immenses filons que la nature n'aurait pas remplis. Il faut bien se garder de confondre ces grandes crevasses avec les ravins que nous voyons tous les jours se former dans les flancs des montagnes, et avec une rapidité d'autant plus grande que les eaux érosives sont plus abondantes, plus rapides, et les roches plus tendres.

Non-seulement les grandes oscillations du sol ont pu produire les abîmes que nous venons de citer, mais tout porte à croire qu'elles ont donné naissance à toutes les grandes vallées des montagnes. Les cours d'eau qui les traversent maintenant, lors même qu'ils sont gonflés par la fonte des neiges et les plus fortes pluies d'orage, ne sont rien quand on les compare aux effets qui ont été produits.

En admettant même que ces eaux eussent été plus abondantes autrefois qu'aujourd'hui, elles eussent encore été incapables de creuser des vallées aussi larges, aussi longues, aussi profondes que celles qui existent dans les grandes chaînes de montagnes. Et d'ailleurs, si ce liquide avait pu seul produire ces grandes inégalités du sol, on verrait les vallées commencer comme nos ravins, par un léger sillon, dont la profondeur et la largeur iraient en augmentant toujours, tandis que les unes sont plus larges en certains points qu'en d'autres ; on en voit qui ont un cirque pour point de départ, et quelques-unes même qui semblent entièrement fermées. Les cours d'eau doivent nécessairement avoir modifié les vallées. Ils doivent avoir corrodé leurs parois, approfondi quelques parties de leur lit, échangé l'inclinaison de leurs pentes, et surtout avoir amoncelé dans quelques parties, les débris qu'ils arrachaient dans d'autres ; mais ces petits effets ne sont rien quand on les compare à la physionomie générale d'un pays de montagnes.

Il y a pourtant dans les pays de plaines ou de collines, des vallées qui ont été entièrement creusées par les eaux. Si la direction de quelques-unes d'entre elles a été déterminée par une fente ou une petite dépression du

sol, on peut en général attribuer à l'eau tout le mérite de ces petites vallées des terrains meubles. On trouve un grand nombre de ces sillons dans tous les terrains de sédiment, aux environs de Paris, en Belgique, en Autriche, et même au milieu des basaltes du Velay et du Vivarais.

D'après cela on distingue souvent les vallées de pays de montagnes de celles des contrées basses. On attribue aux premières une origine dépendante des forces agissantes dans l'intérieur du globe, sur lesquelles nous reviendrons par la suite avec détails, et l'on pense que les autres sont le résultat de divers cours d'eau qui, la plupart du temps, existent encore au fond des excavations qu'ils ont creusées. Ces deux forces ont un peu empiété sur leurs attributs respectifs, et en somme, la première a imprimé son caractère aux surfaces élevées des continents.

Un fait assez curieux est la présence de vallées basses, évidemment produites par l'action des eaux, dans des contrées où il ne pleut jamais, et où il n'existe pas de cours d'eau. Ce sont de véritables *vallées sèches* à pentes arrondies, qui existent sur la côte ouest du Péron, et dans quelques autres lieux. Il faut nécessairement attribuer leur érosion à l'action des eaux de l'Océan qui en sont voisines, et que des secousses intérieures auront pu porter avec violence sur ces contrées.

Quant aux grandes vallées qui ressemblent à des plaines ou à des bassins, qui commencent par un cirque, ou qui en forment plusieurs communiquant par des gorges resserrées, on suppose encore que de grandes dislocations leur ont donné naissance, mais on ne peut nier que l'eau, qui ensuite a rempli ces vastes bassins, n'ait joué un rôle très-actif dans leur configuration. Ces plaines circulaires sont évidemment le fond d'anciens lacs qui communiquaient les uns avec les autres, qui charriaient dans leurs bassins une grande quantité de matériaux qui ont fini par les combler, et dont la surface, maintenant traversée par un simple cours d'eau, encombrée par une foule de débris, se couvre d'une végétation vigoureuse.

L'origine première de ces vallées étranglées, ou plutôt de ces grands lacs qui leur ont donné naissance, paraît tenir à des causes

particulières qui ont formé de grandes dépressions sur les continents, et qui sont dues à des phénomènes de dislocation et par suite d'affaissements, ou à certaines conditions du refroidissement et de la solidification de la croûte de notre planète.

DES PLAINES ET DES PLATEAUX.

Tout le monde sait ce que c'est qu'une plaine, et cependant on se trouve très-embarrassé pour définir ce mot. Dans l'acception ordinaire, une plaine est une grande étendue de terrain qui n'est pas limitée par des montagnes, ni sillonnée par des vallées, en un mot, c'est un pays plat ; mais il est difficile de tracer les limites entre un pays plat et un pays montueux. En général, cependant, une contrée conserve la dénomination de plaine quand elle n'est pas traversée par de hautes montagnes, quand bien même le sol serait sensiblement ondulé. Quant aux plateaux, on sait que ce sont les plaines qui sont situées sur des montagnes.

Les plateaux peuvent être très-unis ou légèrement ondulés. Ils peuvent offrir, comme les plaines, quelques éminences qui s'élèvent au milieu ou sur leurs bords ; ils peuvent être arrosés par des cours d'eau, quoique cela arrive rarement ; enfin, ils ont quelquefois une grande étendue. Tel est, par exemple, celui qui supporte le volcan d'Antisana à 4,103 mètres d'élévation, et qui a douze lieues de circonférence¹. Il existe au Thibet des plateaux presque aussi élevés et très-étendus, mais en général ils le sont beaucoup moins.

Nous avons déjà parlé des petites plaines enfermées entre des montagnes, et qui ne sont autre chose que des vallées à fond plat, comme la Limagne et la Bohême. Elles sont, en général, formées des débris qui se sont déposés au fond des eaux qui les couvraient autrefois. Un jour, les grands lacs de l'Amérique du Nord, débarrassés de leurs eaux, formeront des plaines analogues. Mais ces larges vallées à fond plat ne donnent jamais que des plaines très-limitées ; tandis qu'il existe sur certaines parties des continents,

des espaces immenses, dont la régularité n'est dérangée que par de légères saillies, et qui s'élèvent même très-peu au-dessus de l'Océan.

Les véritables plaines sont, en effet, celles qui, d'un côté, sont bordées par l'Océan, car (à moins de chercher sur d'autres continents une chaîne de montagnes qui leur serve de limites) on ne peut plus assimiler ces plaines à de grandes vallées.

L'étude des plaines devient d'un grand intérêt pour le géologue, si l'on fait attention que la plupart des chaînes de montagnes sont, comme nous le verrons plus tard, d'une date postérieure à l'apparition des continents, en sorte que ceux-ci ont dû s'élever d'abord de très-peu au-dessus des eaux. Ils devaient alors présenter une surface uniforme et marécageuse, car c'est au soulèvement des montagnes que les plaines ont dû les pentes plus ou moins fortes qu'elles ont acquises maintenant et qui permettent l'écoulement de leurs eaux.

Il existe encore des plaines très-étendues et très-basses sur les deux continents. Ainsi, en Amérique, où les plaines sont immenses et horizontales, les eaux n'ont presque pas d'écoulement ; le peu de vitesse des fleuves contribue à les élargir, et c'est à peine si l'élévation des Andes a donné de la pente à celles qui naissent au pied de ces montagnes. Les trois chaînes transversales de cette partie du monde sont séparées par des plaines toutes fermées vers l'ouest, et ouvertes vers l'est et le sud-est. Lorsqu'on réfléchit sur leur peu d'élévation au-dessus de la surface de l'Océan, on est tenté de les considérer comme des golfes prolongés dans la direction du courant de rotation. Si les eaux de l'Atlantique, par l'effet de quelque attraction particulière, se soulevaient, à l'embouchure de l'Orénoque, à 50 toises ou à l'embouchure de l'Amazone, à 200 toises de hauteur, la grande marée couvrirait plus de la moitié de l'Amérique méridionale. La pente orientale, ou le pied des Andes, éloigné aujourd'hui de six cents lieues des côtes du Brésil, serait une grève battue par les eaux.

Aucune contrée, si ce n'est peut-être le nord de l'Asie, n'offre des plaines aussi étendues et aussi uniformes que celles de l'Amérique ; aussi sont-elles périodiquement

¹ HUMBOLDT, *Géographie des plantes*, p. 117.

inondées par le débordement des fleuves.

En Asie, un immense terrain s'étend uniformément dans tout le nord du continent, et son élévation est si peu considérable, que les Chinois prétendent qu'il était caché par les eaux de la mer, et qu'il n'est émergé que depuis les temps historiques. Cette immense plaine se lie à celles de l'Europe, qui ont moins de développement, mais qui pourtant sont aussi très-grandes sur le littoral; et si l'on supposait une route des landes du Brabant aux steppes de l'Asie, par de hautes latitudes, au delà des 60° et 65°, on trouverait des plaines continues sur une longueur qui égale presque la demi-circonférence du globe¹.

L'Afrique présente aussi des parties très-basses, comme l'Égypte, également soumise à des inondations périodiques, et qui n'est, à proprement parler, qu'une grande vallée dans laquelle coule le Nil. Une des plus vastes plaines de cette partie du monde est, sans contredit, le désert de Sabara, qui a une aire de 194,000 lieues carrées de 20 au degré, et qui, par conséquent, offre une surface plus que double de celle de la Méditerranée.

Lorsqu'on prend un grand espace, par exemple, un continent tout entier, et que l'on ébèrbe le rapport en étendue des plaines et des montagnes, on trouve que celles-ci n'occupent qu'une petite partie de la terre, car, dans l'Amérique méridionale, dont la surface est de 571,500 lieues carrées de 20 au degré, le rapport des montagnes aux plaines est comme 1 à 4; et tanto la région à l'est des Andes a plus de 424,600 lieues carrées dont la moitié est en savanes couvertes de graminées².

La surface des plaines dont nous devons seulement nous occuper ici, est tantôt nue et tantôt recouverte de nombreux végétaux.

L'absence de l'eau semble être la cause de la stérilité de certaines contrées, comme cela a lieu pour les déserts de l'Afrique et de l'Asie. Si, dans quelques points de ces déserts, l'eau douce paraît, la végétation se groupe autour d'elle, et forme ce que l'on

appelle un *oasis*, espaces plus ou moins grands dont le plus célèbre est celui de Thèbes. On le connaît sous le nom de *grand oasis*. L'étendue de son terrain fertile est de vingt à vingt-quatre lieues sur une largeur de trois à quatre.

Il paraîtrait que certains oasis avaient autrefois plus d'étendue qu'aujourd'hui; tel est, par exemple, celui qui paraît situé sur l'emplacement de l'ancienne ville *Oasis*, dont parle Hérodote. Soit que le sable du désert ait empiété sur les terrains fertiles, soit que les ruisseaux aient diminué, on remarque autour des champs cultivés, et jusqu'à une distance de 15 lieues, les ruines nombreuses de temples antiques situés aux environs de Syouah, et qui certainement n'avaient pas été bâtis dans des lieux aussi stériles.

Des espaces arides, et qui paraissent tout à fait l'opposé des oasis, se trouvent au milieu de certaines plaines fertiles, comme M. de Humboldt l'a observé dans les plaines délicieuses de la Mission de Carichapa. « Ce qui donne à cette contrée un caractère particulier, ce sont des bancs de roches presque dépourvus de végétation, qui ont souvent plus de 800 pieds de circonférence, et qui s'élèvent à peine de quelques pouces au-dessus de la savanne environnante. Ils sont aujourd'hui partie de la plaine. On se demande avec surprise si quelque révolution extraordinaire a emporté le terrain et les plantes, ou si le noyan granitique de notre planète se montre à nu, parce que les germes de la vie ne sont point encore développés sur tous les points. Le même phénomène semble se trouver dans le *Shamo*, qui sépare la Mongolie de la Chine. On appelle *ty* ces bancs de roches isolés dans le désert. M. Humboldt pense que ce seraient de véritables plateaux, si les plaines d'autour étaient dépouillées du sable et du terrain qui les recouvrent, et que les eaux y ont accumulés dans les endroits les plus bas³. »

Les plaines offrent encore une singularité que nous ne devons pas passer sous silence, et qui aurait peut-être pu être indiquée en parlant des vallées; ce sont certaines dépres-

¹ HUMBOLDT, *Fragments asiatiques*, t. II, p. 318.

² Idem, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. X, p. 321.

³ HUMBOLDT, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. VI, p. 308.

sions qui s'observent à la fois sur les plaines et sur les plateaux; mais il nous a semblé que ces affaissements du sol constituent un ordre de phénomènes tout à fait différent.

Ces dépressions existaient autrefois sur la plupart des plaines, et formaient autant de bassins fermés, occupés par de vastes amas d'eau. Maintenant plusieurs de ces bassins se sont ouverts par l'érosion de leur digue, et par la pression des eaux qu'ils renfermaient; plusieurs d'entre eux se sont mis en communication, et d'étage en étage, ont versé leurs eaux dans la mer. Ce n'est pas ici le lieu de chercher si c'est bien réellement à la lente action érosive des eaux qu'il faut attribuer leur dessèchement, ou bien si le soulèvement de quelques groupes de montagnes n'a pas occasionné, dans ces plaines, une pente qui a changé des bassins fermés en bassins ouverts et étagés; ce que nous devons constater, c'est leur existence. Certes, l'exemple le plus remarquable est celui de la mer Caspienne, dont le niveau est bien au-dessus de celui de l'Océan. C'est la plus grande dépression connue, puisqu'elle occupe toute la partie centrale de l'Asie, et communiquerait même, selon le célèbre auteur qui nous a si souvent servi de guide, au sud de $51^{\circ} \frac{3}{4}$ de latitude, dans le parallèle d'Orembourg et de Saratow, avec les plaines où se trouve la ville de Jeneisseik en Sibérie, et même avec celles qu'arrose l'Escout, région dont la hauteur moyenne n'excède pas 40 à 50 toises. Il paraîtrait même que cette concavité de la Caspienne s'étendrait sous des dépôts de sédiment, jusqu'à Moscou d'un côté et jusqu'en Pologne de l'autre. Très-probablement de semblables dépressions se feraient remarquer dans un grand nombre de lieux, si des terrains de sédiment d'âge et de puissance différents ne les avaient pas comblés.

De vastes bassins fermés existent actuellement en Amérique, et le lac Titicaca en est

le plus curieux exemple. On peut y joindre le lac qui occupe le fond de la dépression de Mexico, et une foule d'autres disséminés sur toute l'étendue de ce continent.

Peut-être faut-il attribuer encore à des phénomènes analogues la formation des bassins des grands lacs de la Suisse. Il faut du moins y rapporter les bassins fermés de la Grèce, et enfin ces petites dépressions circulaires que présentent les grands plateaux basaltiques de l'Auvergne et d'autres contrées, et même les petits lacs arrondis qui existent encore sur les alluvions de la plaine du Forez.

Toutes ces cavités ne peuvent être dues aux mêmes causes; mais il en est deux qui ont puissamment contribué à former ces dépressions des plaines et des plateaux, c'est le soulèvement des chaînes de montagnes et le retrait qu'ont éprouvé, en se refroidissant, les matières pierreuses dont notre planète est composée.

Nous prévoyons déjà que des forces puissantes ont bouleversé la surface de la terre, puisqu'on y observe un si grand nombre d'inégalités. Des forces analogues ont dû agir aussi sur les autres planètes. Celles que nos instruments nous ont permis d'étudier, nous ont offert aussi des plaines, des vallées et des montagnes. La lune, assez rapprochée pour que nous connaissions un peu sa topographie, a comme la terre de larges bassins et de hautes montagnes, de profondes dépressions comme celle de l'Asie, et des cirques comme la Bohême et l'île de Ceylon, des groupes comme les montagnes volcaniques du centre de la France, en un mot, une surface tellement tourmentée, qu'elle a, sans nul doute, été soumise comme la terre à des forces puissantes qui changeront peut-être encore le seul de ses hémisphères qu'il nous soit permis d'observer.

CHAPITRE DEUXIÈME.

DES ROCHES ET DES COUCHES.

Nous allons pénétrer dans l'intérieur du globe et examiner les différentes substances dont il est composé, l'ordre et l'arrangement de ses diverses parties, ainsi que leur âge relatif. Mais avant de nous occuper de ces détails, nous devons prévenir que nous ne connaissons qu'une bien faible partie de l'écorce de la terre. En effet, nous ne pouvons étudier l'intérieur que dans les vallées et dans quelques déchirures, qui mettent à nu les parties les plus extérieures, le long des fleuves et des côtes, sur la crête des montagnes et dans les puits que les hommes ont creusés pour élever certaines substances auxquelles l'usage a donné un grand prix. Or, les mines les plus profondes ne descendent pas à 300 mètres au-dessous du niveau de l'Océan, et les montagnes les plus élevées n'en atteignent pas plus de 8000. Ces montagnes sont tellement hautes, relativement à nous, que nous ne pouvons pas nous élever jusque sur leur cime qui, du reste, est cachée par des neiges éternelles, en sorte que la partie intérieure du globe ne nous est connue que sur une épaisseur de 7000 mètres au plus, moins de deux lieues sur 1500 de diamètre; ou comme nous l'avons déjà vu, comme l'épaisseur d'une feuille de papier sur une boule de 16 pieds. Qu'on veuille bien ne pas perdre de vue cette grande vérité et nous en tenir quelque compte, en lisant ce qui va suivre.

Si nous prenons un livre quelconque, nous le trouverons composé d'un certain nombre de pages; chaque page est composée de lignes, chaque ligne de mots; enfin, ces mots sont formés d'un certain nombre de lettres. Ici s'arrête la décomposition; les lettres sont donc les éléments de ce livre. Il en est de même du grand livre de la nature. Tous les corps organisés qui sont à sa surface, toutes

les substances inorganiques qui composent sa masse, soumises aux expériences multipliées des chimistes et à toutes les forces dont ils peuvent disposer, se transforment en un certain nombre d'éléments ou de corps simples.

Le nombre de ces corps est assez grand, puisque, dans l'état actuel de nos connaissances, il s'élève à 34, et probablement nous ne les connaissons pas tous. Peut-être aussi des découvertes ultérieures nous prouveront-elles qu'il doit être restreint, et que les métaux, par exemple, qui sont si nombreux, et qui jouissent de propriétés analogues, ne sont que des modifications d'une même substance. Mais, jusqu'à présent, nous n'avons aucun motif pour le croire, et nous admettrons comme éléments les corps dont les noms suivent :

*Aluminium, Antimoine, Argent, Arsenic, Barium, Bismuth, Cadmium, *Calcium, Cérium, Chrome, Cobalt, Colombium, Cuivre, Étain, **Fer, Glucinium, Iridium, Lithium, *Magnesium, Manganèse, Mercure, Molybdène, Nickel, Or, Osminum, Palladium, Platine, Plomb, *Potassium, Rhodium, *Sodium, Strontium, Tellure, Thorium, Titane, Tungstène, Urane, Vanadium, Yttrium, Zinc, — *Azote, Bore, Brome, *Carbone, **Chlore, Fluor, *Hydrogène, Iode, *Oxygène, Phosphore, Sélénium, *Silicium, **Soufre, Zirconium.

Un petit nombre seulement de ces éléments compose la croûte du globe, du moins jusqu'à une grande profondeur, l'atmosphère qui l'environne et les corps organisés qui vivent à sa surface; ce sont ceux qui sont marqués d'un astérisque. D'autres, bien moins nombreux, sont assez répandus; ce sont ceux qui sont marqués de deux astérisques. Les autres sont de véritables raretés.

Rarement ces corps simples se trouvent à

l'état de pureté, excepté ceux qui sont peu répandus dans la nature. Ils se combinent 2 à 2, 3 à 3 et 4 à 4, et rarement plus, pour donner naissance à tous les corps organiques et inorganisés. Ces derniers seuls doivent nous occuper.

Les éléments s'unissent en proportions définies, c'est-à-dire qui sont constantes et invariablement les mêmes. L'action par laquelle cette union s'opère s'appelle *combinaison*, le résultat est un *corps composé*. Deux composés peuvent aussi s'unir en proportions définies et produire un corps plus compliqué. De ces diverses combinaisons résultent les espèces minérales dont l'étude constitue la *Minéralogie*. Ces espèces se distinguent entre elles par deux caractères : la composition chimique et la forme cristalline.

Toute la croûte du globe est donc composée de minéraux, mais il en est de certaines espèces comme de certains éléments qui ne se montrent que de temps en temps et dans des circonstances particulières. Nous les négligerons pour le moment, et nous nous occuperons de celles qui, par leur abondance, jouent un certain rôle dans la nature. Les géologues désignent collectivement ces minéraux abondants sous le nom de *roches*.

Rarement les minéraux qui composent les roches, sont à l'état de pureté. Le plus souvent plusieurs espèces sont mélangées de telle sorte que, dans ce cas, une roche diffère entièrement d'une *espèce minérale*, qui est toujours le résultat de la combinaison en proportions définies de plusieurs éléments, tandis que la roche est le mélange en proportions indéfinies de plusieurs espèces. Ce mélange est le plus souvent assez grossier pour qu'on puisse reconnaître les minéraux composants à l'œil nu. Exemple : le *granit*, le *porphyre*. D'autres fois les roches, quoique formées de minéraux mélangés, ne laissent distinguer aucune de leurs parties.

Une grande dureté n'est pas, comme on le croit dans le monde, un caractère essentiel aux roches. La plupart le possèdent, mais il en est de très-tendres, comme l'*argile*, etc.

Enfin, en géologie, on entend par *roches* toutes les matières qui se trouvent en assez grande quantité pour jouer un rôle quelconque dans la structure du globe. Peu importe

que les roches soient formées de minéraux simples ou par l'aggrégation de plusieurs espèces, qu'elles soient dures ou seulement formées de sables, de cendres ou de matières incohérentes. L'eau, à l'état solide et même à l'état liquide, mais permanent, peut aussi être considérée comme une roche. On ne sait donc pas au juste où sont les limites de cette acception, et telle substance que l'on n'a pas encore trouvée en assez grande quantité dans la nature, pour mériter ce nom, pourra s'y rencontrer bientôt en quantité plus que suffisante pour le recevoir.

Les autres détails dans lesquels nous pourrions entrer relativement à la structure, à la composition, aux espèces des roches, sont purement minéralogiques et appartiennent à une science très-étendue qu'il nous est impossible d'approfondir dans cet ouvrage. Nous avons traité cette matière, comme nous l'entendons, dans un travail spécial sur la *minéralogie*, auquel nous renvoyons nos lecteurs, ainsi qu'au vocabulaire abrégé qui termine cet ouvrage.

DE LA MANIÈRE D'ÊTRE DES ROCHES DANS LA NATURE.

L'écorce terrestre est composée d'un certain nombre de roches qui quelquefois passent de l'une à l'autre par nuances insensibles, mais qui plus ordinairement sont assez distinctes pour qu'on puisse reconnaître plus ou moins clairement les joints par lesquels elles se touchent. L'ensemble de ces joints constitue la stratification du sol, étude du plus haut intérêt dans l'histoire de notre planète.

Quand on a examiné avec beaucoup de soin un grand nombre de contrées, que l'on a bien étudié les vallées et les montagnes, que l'on n'a négligé aucun moyen de voir le sol privé de végétation, nu, déchiré, écorché partout où il pouvait l'être, on arrive soi-même à une remarque générale ; c'est que certaines roches sont disposées en assises superposées, que l'on appelle *couches*, dont

¹ *Éléments de Minéralogie appliquée aux Sciences chimiques, suivis d'un Précis élémentaire de Géognosie*, par GIRARDIN et LECOE, 2 vol. in-8°. Paris. — Thomine, rue de la Harpe, 78 ; et Bailière, rue de l'École de Médecine.

l'épaisseur, la direction et la composition varient à l'infini et en masses de formes très-variées, non divisées en couches, et qui souvent même servent de support à celles-ci, ou les traversent dans toutes sortes de directions.

De là deux manières d'être des roches dans la nature, en *massifs* et en *couches superposées*. Il y a donc des roches séparées par de grandes fissures continues, et d'autres qui n'en ont point ; et comme on donne le nom de *terrains* à l'ensemble de toutes ces roches, il en résulte qu'il y a des *terrains stratifiés* et de non *stratifiés*.

Si l'on étudie minéralogiquement la structure et la composition de toutes ces roches, on trouvera de grandes différences entre celles qui forment les *massifs* et celles qui s'étendent en couches. Les premières sont généralement composées de minéraux durs et cristallins, qui semblent être mélangés lors de leur création, dont toutes les parties, fortement adhérentes, ne sont liées par aucun ciment, mais se pénètrent mutuellement et doivent leur dureté à un enchevêtrement de cristaux de nature différente. Les secondes sont formées de minéraux tendres, peu adhérents, ou de fragments liés par un ciment quelquefois très-visible et très-tenace. De là deux nouvelles dénominations qui peuvent les faire distinguer en *terrains cristallins* et en *terrains de sédiment*.

On prévoit déjà que les premiers ont été fondus par une forte chaleur, et que les seconds ont été déposés au milieu des eaux. D'autres indications viennent encore confirmer ces prévisions : les premiers, entièrement cristallisés, ne contiennent, pour ainsi dire, jamais de débris de corps organisés ; les seconds en renferment toujours. Les roches forment donc deux sortes de terrains : ceux qui sont en *masses cristallines et pures de corps organiques* ; ceux qui sont en *couches de sédiment, munies de débris organiques*.

Quoique ces divisions paraissent bien tranchées, bien absolues et bien précises, la nature se joue tellement de tous nos petits arrangements, que nous trouvons souvent des roches que nous ne savons où placer, et les savants systématiques sont parfois obligés, à leur grand déplaisir, de déplacer certains

terrains pour les porter d'une catégorie dans l'autre. Nous verrons par la suite combien il est difficile de trouver le point de départ ou le niveau géologique de ces deux grandes divisions.

DES MASSIFS OU DES ROCHES NON STRATIFIÉES.

Ces roches peuvent se présenter sous différents aspects. Elles forment ordinairement la partie la plus inférieure du sol dans laquelle nous avons pu pénétrer, et servent de support aux roches stratifiées qui paraissent déposées dans de grands bassins. Elles occupent, par conséquent, presque toute la surface du globe, se montrent au jour sur un grand nombre de points, notamment vers les deux pôles, et sont recouvertes ci et là par des terrains stratifiés complètement différents. Des massifs appartenant à ces roches cristallisées ont pénétré tous les terrains à couches, se sont injectés à travers leurs assises, ou se sont fait jour par-dessus ; ils se sont répandus à leur surface, comme ils l'ont fait souvent entre les couches, avant d'arriver au jour ; ils ont coulé sur des terrains de sédiment, et, d'abord fondus par l'intensité de la chaleur, ils se sont peu à peu refroidis et consolidés. Considérant ce dernier mode de formation, on leur a donné aussi le nom de *terrains d'épanchement*, parce que, de nos jours encore, on les voit s'épancher des cratères volcaniques et s'étendre à la surface du sol. Ce dernier mode de création leur donne au premier abord, et seulement dans des circonstances très-limitées, quelques rapports avec les terrains en couches ou de sédiment ; mais on voit que cette espèce de ressemblance ne peut soutenir un examen sérieux. Ces roches ont donc formé d'abord la surface de la terre, et quand les sédiments sont venus combler leurs dépressions, elles se sont élevées en massifs ou en couches intercalées, ont dérangé la stratification des autres roches, ont bouleversé le sol, et, de nos jours encore, viennent couler et s'étendre sur les terrains les plus nouveaux.

Les roches qui les composent, quoique cristallisées pour la plupart, varient beaucoup dans leur composition. Ce sont des *granites*, des *amphibolites*, des *gneiss*, des

micaschistes, des *porphyres*, des *trachytes*, des *basaltes*, des *laves*, et probablement des *calcaires*. Ces massifs, quelle que soit la nature de la roche qui les compose, sont bien loin d'être exempts de fissures; ils en sont souvent criblés, et sans leur structure cristalline, sans l'examen de leur situation relativement aux autres roches, on pourrait souvent les confondre avec elles. Nous observerons qu'un des caractères qui les distingue est le *non-parallélisme* des fissures et souvent même leur entre-croisement. Du reste, on doit bien penser qu'une masse considérable qui a été fondue par une chaleur intense et qui se refroidit, doit nécessairement affecter par le retrait des formes très-variées et dépendantes d'un si grand nombre de circonstances locales ou accessoires, qu'il serait bien difficile de les prévoir et de les calculer. Ce qui va paraître bien singulier, c'est que les roches de sédiment offrent souvent le même genre de fissures, quand on considère chaque couche isolément. Nous allons examiner successivement les différents modes de disrégulation des roches non stratifiées.

Division en feuilletés. — Un grand nombre de ces roches se partagent en petits feuillets, dont les faces ne sont pas précisément parallèles, et qui semblent dus à des retraits que la masse aurait éprouvés en se refroidissant. Ces feuillets, loin d'être véritablement parallèles, comme ceux de certains schistes, se terminent en pointe, se croisent, se pénètrent et forment des joints de retrait que l'on rencontre bien souvent dans plusieurs *siénites*, dans des *gneiss*, des *micaschistes* et même dans quelques *calcaires*. C'est souvent la présence d'un minéral à cristaux aplatis qui occasionne cette division. Ainsi le *mica*, le *talc*, la *chlorite* le déterminent fréquemment.

La *division prismatique* est l'une des plus communes; on en reconnaît souvent des indices dans des *granites*, des *amphibolites*, des *porphyres*, surtout dans les *trachytes* et les *basaltes*. La roche est partagée dans toute son étendue en un certain nombre de prismes dont le diamètre est aussi variable que la hauteur. Tantôt ces prismes sont presque réguliers, à cinq, six, sept ou huit pans, tantôt les fissures se confondent sur certaines

faces, s'éloignent sur d'autres, et les vides sont remplis par des prismes plus petits à trois ou quatre angles; on en voit de droits et d'inclinés, de courbes et d'arrondis. Les uns, formés de pièces articulées, se désunissent avec une grande facilité; d'autres, d'un seul jet, s'élèvent à une grande hauteur.

Quelquefois la division précédente, mais plus régulière, vient compliquer celle-ci, et les prismes se partagent parallèlement à leur base en un grand nombre de plaques minces qui servent à couvrir les maisons. C'est ce qui arrive pour certains basaltes, pour plusieurs *trachytes* et *phonolites*. Cette division, évidemment produite par le retrait causé par le refroidissement, se fait aussi remarquer sur des roches qui appartiennent aux sédiments, ou du moins qui sont dues à une action toute différente de la fusion. On voit des *gypses* et quelquefois des *calcaires* qui sont parfaitement prismatiques; des *argiles* le sont aussi d'une manière moins régulière, comme si le retrait opéré par l'évaporation de l'eau différait de celui qui résulte de la perte de la chaleur.

Division rhomboédrique. — On remarque assez souvent dans les granites et plusieurs autres roches cristallisées, des fentes qui affectent une certaine régularité, et qui, en se croisant sous certains angles, divisent les roches en rhomboïdes irréguliers ou en prismes à 4 pans dont la base est presque toujours inclinée. Au reste, ce mode de division appartient plutôt aux roches de sédiment qu'à celles qui nous occupent, et on en trouve des exemples très-fréquents dans les *grès* et les *calcaires*. Il faut, dans certains cas, beaucoup d'attention pour ne pas confondre ces fissures avec les véritables joints d'une stratification régulière.

La *division en boules* est aussi très-commune dans les roches cristallisées. Ainsi, on en trouve d'élégants exemples dans les *pyromérides*, les *diorites orbiculaires*, et on remarque une foule de modifications de cette espèce de division dans les *granites*, les *basaltes*. Elle tient peut-être à un commencement de décomposition de ces roches, mais elle est due principalement à des centres d'attraction qui se sont établis dans les roches encore fondues, et autour desquelles les parties sont

plus denses et plus intimement combinées que sur les angles. Il semble que plusieurs centres semblables s'étant établis dans une grande masse fondue, certaines parties de la roche, sollicitées à la fois par plusieurs de ces centres et dans des directions contraires, soient restées immobiles par la compensation de ces forces, et soient dans un état de non-combinaison qui leur permet de se disagréger avec la plus grande facilité.

Quelques calcaires montrent aussi une tendance à se diviser en boules, ou plutôt en calottes sphériques et concentriques. Les mêmes forces attractives ont sans doute agi pendant leur consolidation.

Quelques autres modes de division se présentent encore dans les roches non stratifiées, telles que des fissures tout à fait irrégulières qui traversent de grandes masses de *granites*, de *protogynes* ou d'*amphibolites*; des joints parallèles et étendus que l'on observe dans le contournement et le plissement des *gneiss* et des *micaschistes*; les points de contact de certaines roches qui se présentent en grandes enveloppes recouvrantes à la manière des concrétions calcaires, mais qui forment quelquefois des montagnes entières, ou enfin des joints irréguliers comme ceux qui ont été formés à la fois par le refroidissement et le mouvement du terrain, sur les coulées de laves des volcans.

DES COUCHES OU DES ROCHES STRATIFIÉES.

Quand une roche s'est déposée dans l'eau, quand aucune cause perturbatrice n'est venue troubler ce dépôt, il en résulte un lit horizontal ou légèrement onduleux qui s'est moulé sur le bassin et qui présente sensiblement la même épaisseur sur tous les points. Si les circonstances qui ont concouru à former cette couche se représentent de nouveau, une nouvelle couche en sera le résultat; une troisième pourra lui succéder, une quatrième, et ainsi de suite. Si, dans cette succession de dépôts, quelques circonstances viennent à changer périodiquement ou accidentellement, il en résultera aussi des variations dans le dépôt des sédiments, dont les couches se ressentiront nécessairement de l'influence de ces anomalies.

Il est naturel que, dans un dépôt qui s'opère sans trouble et dans une eau tranquille, les matières les plus pesantes se précipitent les premières, et les plus légères à la fin; c'est aussi ce que l'on observe le plus souvent dans la nature. Des couches de grès ou de débris de roches préexistantes, d'un volume inégal, occupent le fond du bassin, et au-dessus se trouvent les calcaires, les argiles et les particules les plus terreuses qui étaient restées suspendues les dernières.

Plusieurs dépôts s'opérant successivement de cette manière, il ne pourra guère y avoir de limites tranchées entre leurs différentes époques. Le grès passera peu à peu au calcaire qui se mélangera avec lui, l'argile avant de se déposer pure entraînera du calcaire, puis enfin formera une couche séparée. Si à la fin du dépôt de l'argile, les mêmes causes qui ont charrié ces matériaux dans un grand lac se reproduisent encore, les grès se mélangeron à la partie supérieure de l'argile, puis viendra encore le calcaire, et ainsi de suite. Maintenant, que le lac se dessèche, qu'un ruisseau y creuse un ravin, et mette à nu la tranche de ce dépôt composé, on verra que les roches forment bien des couches, qu'il sera facile de distinguer à leur texture, à leur couleur, à leur grain, mais il n'existera entre elles aucune limite tranchée. Dans ce cas cependant, la stratification sera parfaitement régulière. Souvent les roches sont tellement confondues, et se pénètrent si bien, que l'on est obligé de recourir à ces caractères secondaires pour déterminer la stratification; mais il est bien rare qu'elle ne soit pas indiquée par des zones colorées, qui indiquent des dépôts différents, par des lits de cailloux ou de fragments de même grosseur, et déposées sur une même ligne, par la situation de certaines substances accessoires qui se sont formées ou déposées pendant une période, et qui ont manqué dans une autre.

Lorsqu'il s'est écoulé un certain laps de temps entre la superposition de deux couches, elles sont alors beaucoup mieux séparées, lors même qu'elles seraient tout à fait de même nature.

La situation, c'est-à-dire la position des couches relativement aux terrains qui les supportent, leur direction, leur inclinaison,

sont des caractères de la plus haute importance; c'est en quelque sorte l'histoire des terrains de sédiments bien plus que la détermination des roches qui les composent.

Les couches peuvent se trouver dans une situation naturelle, ou bien, ce qui est le plus fréquent, avoir subi des dérangements postérieurs. Dans le premier cas, elles sont horizontales ou inclinées, mais l'inclinaison a certaines limites. M. Rozet, qui a fait plusieurs expériences pour la déterminer, a conclu de son travail :

1° Que des dépôts réguliers peuvent avoir lieu jusque sous l'inclinaison de 30°;

2° Que l'épaisseur du dépôt diminue à mesure que l'inclinaison augmente;

3° Que les matières les moins pesantes peuvent se déposer sur les surfaces inclinées plus que les autres;

4° Qu'un dépôt de cailloux peut se déposer en couches régulières sous une inclinaison de 15°. Il est probable que s'il s'exerce des actions chimiques dans le liquide, les dépôts doivent pouvoir se former sous une inclinaison encore plus forte. Ne voit-on pas, dans les cavernes, les stalactites composées de couches concentriques se former dans une position verticale?

L'inclinaison peut être beaucoup plus forte si, après le dépôt, des causes étrangères sont venues disloquer le bassin et déranger sa régularité, surtout si ce sont des roches en massifs ou non stratifiées, qui sont venues se faire jour à travers le sédiment, comme nous le verrons en parlant des soulèvements. Les couches, dans ce cas, peuvent être très-inclinées, verticales, et quelquefois culbutées les unes sur les autres.

Il est donc très-essentiel de déterminer l'inclinaison des couches, c'est-à-dire l'angle qu'elles forment avec une couche idéale supposée bien horizontale, et il ne faut pas se laisser influencer par quelques inflexions ou ondulations que présentent presque toutes les couches inclinées; c'est l'inclinaison moyenne qu'il faut prendre. Il est aussi bien essentiel de connaître leur direction, c'est-à-dire le point de l'horizon vers lequel elles se dirigent et le rapport de cette inclinaison et de cette direction avec les montagnes voisines, ou avec les roches non stratifiées les moins éloi-

gnées, qui ont déterminé par leur apparition plusieurs des principaux caractères des roches de sédiment.

Ces couches stratifiées, considérées isolément, offrent, comme les roches en masse, des structures variées, et qui sont à peu près les mêmes, avec cette différence, que celles qui sont les plus rares dans les premières roches sont les plus communes dans celles-ci. Ainsi la division en feuillets parallèles, celle en masses rhomboédriques qui se rencontrent assez rarement dans les roches cristallisées, sont communes dans l'intérieur des couches, tandis que les structures prismatiques et feuilletées y sont beaucoup plus rares.

L'épaisseur des couches est encore un caractère dont il faut tenir compte, car s'il n'indique pas la cause qui a formé le dépôt, il donnera du moins la mesure des forces agissantes, comparativement à celles qui ont produit les autres couches. La différence d'épaisseur se réduit souvent à très-peu de chose quand les couches sont de même nature; mais elle est quelquefois très-grande quand leur composition vient à changer. Lorsqu'il y a ainsi des couches puissantes et d'autres beaucoup plus minces qui alternent, on appelle les dernières des couches *subordonnées*. Ainsi, à Montmartre, les petites couches de marne qui séparent les assises de gypse ou pierre à plâtre, sont des couches *subordonnées*; et telle roche qui joue humblement ce rôle dans une localité peut l'imposer à son tour dans une autre; la marne subordonnée au gypse, à Paris, se présente comme roche *indépendante* dans la Limagne d'Auvergne, et le gypse lui est subordonné.

Quelles sont les causes qui ont modifié de mille manières ces différents dépôts? Quelles sont les circonstances qui, à des époques déterminées et périodiques, ont amené des changements analogues, des séries toujours semblables et si souvent répétées dans les dépôts de sédiments? Quelles sont les forces qui ont dérangé ensuite tous ces terrains, qui ont soulevé leurs parois, raviné leurs flancs et montré leurs tranches à découvert? Ce sont autant de graves questions que soulève à chaque instant l'étude de la géologie; ce sont ces nombreux pourquoi qui nous font remarquer cette immense distance qui nous

sépare de la Divinité, qui confondent notre orgueil et qui fortifient en nous ce sentiment profond et religieux qui rend le véritable naturaliste si soumis à l'immuable volonté de Dieu. Malgré notre faiblesse et nos petits moyens d'investigation, le Créateur a permis cependant que nous puissions apprécier de loin quelques-unes des grandes lois qui régissent l'univers, quelques-unes des forces qui ont agi si puissamment pour modifier notre imperceptible planète. C'est donc en étudiant l'action actuelle de ces forces que nous essaierons de faire quelques pas dans ce labyrinthe où l'analogie seule peut nous guider.

DE L'ÂGE DES ROCHES.

Lorsque des matières différentes se déposent lentement dans un bassin circonscrit, les plus pesantes, ainsi que tout le monde le conçoit, doivent atteindre le fond les premières. Si de nouveaux matériaux y sont charriés, ils se déposent encore. Si pendant vingt ans la même chose a lieu et qu'il se forme vingt couches, il sera facile de déterminer l'âge relatif de ces couches. Le bon sens indiquera que la plus nouvelle est celle qui s'est déposée la dernière, que la dixième est recouverte par dix autres, que le fond qui la supporte était créé avant le dépôt de la première, et ainsi de suite. Jusque-là on ne voit aucune difficulté; mais admettons que des dépôts analogues s'opèrent dans un autre bassin très-éloigné du premier et que nous soyons étrangers à ces dépôts, nous les trouvons tout faits en arrivant sur la terre. Nous appliquerons au second bassin le raisonnement du premier; mais si l'on nous demande quel est le plus vieux des deux bassins, nous n'avons qu'un seul moyen de résoudre la question, c'est de les comparer. Or, si nous trouvons à peu près les mêmes couches, en nombre égal ou peu différent, si ces couches contiennent de petites assises subordonnées, semblables à celles de l'autre bassin, si les corps étrangers renfermés dans ces couches sont sensiblement les mêmes que ceux qui sont contenus dans l'autre, lors même que le fond sur lequel elles reposent serait différent, nous en concluons que les deux dépôts ont eu lieu à la même époque géologique, et nous dirons qu'ils sont *parallèles*,

c'est-à-dire que s'ils eussent pu communiquer, ils eussent été contigus et non superposés. On donne même ce nom de *roches parallèles* à des *couches différentes*, lorsque celles-ci se présentent dans les mêmes circonstances géologiques, lorsqu'elles sont placées entre d'autres couches qui indiquent positivement leur âge. Au reste, les géologues ont étrangement abusé de ce terme, car beaucoup de roches qu'ils regardent comme parallèles ont certainement été formées à des époques très-différentes, et nous n'avons aucun motif pour croire que des roches tout à fait semblables ne se soient pas déposées dans des temps très-éloignés et à des distances variables, quoiqu'on ne puisse nier que l'inverse soit généralement plus vrai. Ainsi, en comparant des dépôts presque semblables sur nos deux continents, rien ne nous prouve que ceux d'Amérique ne sont pas postérieurs ou antérieurs à ceux de l'Europe.

Malgré ces doutes, il serait encore facile de déterminer l'âge des couches, si les roches non stratifiées n'étaient pas venues se faire jour à tort et à travers, soulevant les unes, dérangeant les autres; et en en modifiant plusieurs par leur contact. De plus, ces roches sont sorties à toutes les époques et s'échappent encore du sein de la terre sous forme de lave, de telle manière qu'il devient parfois très-difficile d'établir les véritables relations des roches cristallisées et stratifiées. Si ces dernières offrent quelques couches parallèles, les autres présentent aussi le même cas, et en outre il doit y avoir de fréquents niveaux d'âge entre les roches cristallisées ou d'épanchement et les roches sédimenteuses, à tel point qu'à la rigueur le fond qui supporte une série de couches superposées pourra se trouver plus moderne et avoir été injecté depuis le dépôt entre le fond ancien et le dépôt moderne.

Il existe cependant des caractères au moyen desquels on démêle tous ces accidents, et quoique ce travail présente quelques difficultés, comme on peut le supposer en lisant ces lignes, il offre au géologue un puissant attrait qui le soutient dans ses fatigues et lui fait surmonter tous les obstacles. Son but principal est de déterminer les grandes époques

géologiques que l'on suppose avec peu de vraisemblance, indépendantes les unes des autres et auxquelles on donne le nom de *formations*; elles passent cependant de l'une à l'autre par une foule de nuances, comme cela a lieu

pour les roches elles-mêmes. Les formations sont établies par la superposition de plusieurs *terrains particuliers*, qui se reproduisent en une multitude de *dépôts locaux*, dans des lieux souvent très-éloignés.

CHAPITRE TROISIÈME.

DES MATIÈRES MINÉRALES ET DES DÉBRIS ORGANIQUES CONTENUS DANS LES ROCHES ET QUI S'Y PRÉSENTENT ACCIDENTELLEMENT.

Les roches, comme nous le savons, sont des substances minérales simples qui se trouvent en grandes masses dans la nature, ou plus souvent encore des mélanges de plusieurs minéraux qui semblent s'être formés en même temps et déposés sur une grande surface; mais il n'entre réellement dans la composition de toutes ces roches qu'un petit nombre de substances minérales, en sorte que celles-ci se trouvent disséminées dans les autres masses, et y sont comme accessoires ou accidentelles. C'est ainsi que se rencontrent tous ces échantillons de minéralogie que nous recueillons pour orner nos cabinets.

Ces matières se présentent de différentes manières dans l'intérieur des roches, savoir :

Disséminées. — Quand elles sont répandues çà et là dans l'intérieur de la masse. Il faut éviter, dans ce cas, de les confondre avec les parties constituantes ou essentielles des roches composées. Ce sont tantôt des paillettes, tantôt de petits grains, des cristaux, etc. Ceux-ci sont dits *empâtés* quand ils sont enveloppés de toutes parts par les roches, et *implantés* quand ils sont seulement fixés par une extrémité, tandis que le reste est libre dans les cavités préexistantes.

Nids. — Ce sont de petites masses ordinairement friables, n'affectant aucune forme régulière, qui se trouvent répandues çà et là dans l'intérieur des roches.

Rognons. — Ils diffèrent des nids en ce que généralement ils sont plus gros, arrondis

ou réniformes, et formés par des matières solides.

Noyaux. — Ce sont de petites masses de formes diverses, mais servant assez souvent de centre à certaines matières qui se sont modelées autour d'eux.

Veines ou petits filons. — Ce sont de petites couches partielles, ou, comme leur nom l'indique, de petites veines, qui se montrent dans toutes les directions, qui se ramifient ou se divisent, s'écartent ou se suivent en lignes parallèles.

De quelque manière que les minéraux soient contenus dans les roches, ils servent toujours à les caractériser et aident même quelquefois à déterminer leur âge relatif. Mais une remarque essentielle à faire, c'est que la plus grande partie des espèces minérales sont contenues dans les roches cristallisées et non stratifiées; les autres en renferment beaucoup moins. L'étude de ces corps, leur rapport de gisement, c'est-à-dire la manière dont ils sont placés dans les roches, ont donné des notions assez positives sur leur âge relatif, et quoique certains minéraux aient paru à toutes les époques des dépôts de sédiment ou de l'intercalation des roches d'épanchement, il en est d'autres qui ne se sont montrés qu'à des époques précises, et dont l'âge a été parfaitement établi.

Dans un ouvrage spécialement consacré à la géognosie, il conviendrait sans doute de passer en revue les principales espèces miné-

rales, de décrire celles qui, par leur mélange ou leur étendue, composent toutes les formations et tous les terrains, mais une telle masse de détails sortirait du cadre que nous nous sommes tracé; nous nous contenterons de dire quelques mots des principales roches en parlant des terrains qu'elles forment, et nous renverrons, pour la description des roches et des minéraux, à des traités spéciaux, et à quelques articles du vocabulaire qui termine cet ouvrage.

DES DÉBRIS ORGANIQUES CONTENUS DANS LES ROCHES.

En fouillant dans le sein de la terre, on a été très-surpris de rencontrer des corps qui provenaient évidemment du règne organique, tels que des coquilles, des troncs d'arbres, des empreintes de feuilles ou de poissons, des ossements de grands mammifères ou d'oiseaux, les restes de grands reptiles, des œufs, des insectes, et enfin les débris nombreux de tout le règne organique.

Quand ce fait, dont on a douté d'abord, a été bien constaté, on en a tiré cette conséquence toute naturelle, que les êtres organisés s'étaient montrés à la surface de la terre avant que celle-ci ne fût terminée, et que leurs dépouilles avaient été ensevelies dans ses couches à mesure qu'elles se déposaient.

On dut nécessairement chercher si toutes les roches renfermaient ces débris, et l'on reconnut un autre grand principe, c'est que les roches non stratifiées, les roches cristallisées, qui renferment un si grand nombre de minéraux, sont presque toujours dépourvues de dépouilles organiques, tandis que les roches de sédiment, qui contiennent assez rarement des minéraux cristallisés, abondent en débris de toute espèce. On a donné le nom de *fossiles* à tous ces restes de la vie organique, et celui de *paleontologie* à la science qui s'en occupe. On voit déjà qu'il ne peut entrer dans notre plan de décrire tous ces fossiles, pour l'étude desquels une grande masse de connaissances devient nécessaire. Nous ne pouvons pas plus nous occuper d'anatomie comparée, que de minéralogie, que de botanique, de chimie, toutes sciences qui sont cependant nécessaires à celui qui veut étudier avec fruit

la géographie physique de notre globe. C'est précisément parce que cette dernière science en résumé une foule d'autres, qu'elle est à la fois si difficile, mais si belle et si attrayante. Nous devons cependant dire quelques mots des fossiles en général, ou de la paleontologie, avant de continuer l'examen des couches intérieures du globe. M. Deshayes, que l'on doit justement considérer comme un des savants qui ont le plus contribué à l'étude des débris organiques, donne du mot *fossile* la définition suivante :

Un corps organisé est celui qui a été enfoui dans la terre à une époque indéterminée, qui y a été conservé ou qui y a laissé des traces non équivoques de son existence ¹.

Peu importe, dit M. Deshayes, que l'enfouissement du corps organique date d'un ou de six mille ans, il est fossile du moment où on le trouve enfoui dans une roche. Tous les débris organiques sont bien loin de se conserver quand ils sont empâtés dans différentes matières, où un grand nombre se pourrit sans laisser de traces d'existence. On remarque que l'eau a joué un grand rôle dans leur conservation. D'abord enveloppés par ce liquide, ces corps ont été soustraits à l'influence de l'air atmosphérique, et les dépôts qui les ont ensuite empâtés, les ont conservés jusqu'à présent et pour ainsi dire éternellement.

Les corps organisés fossiles ne s'offrent pas toujours dans le même état. Tantôt ils sont libres dans des couches de sables, de marne ou d'argile, et y sont conservés dans l'état où ils étaient lors de leur enfouissement; tantôt ils sont engagés dans des couches solides, où ils ont le plus souvent subi des altérations diverses.

« On nomme fossile pulvérulent ou pourri, celui qui non-seulement a perdu la matière animale qui réunissait ses molécules, mais a subi encore une autre décomposition, de laquelle résulte une désagrégation complète des molécules et la pulvéulence du corps fossile lui-même.

» Si après la désagrégation la dissolution s'opère en entier, on ne trouve que l'em-

¹ DESHAYES, *Coquilles caractéristiques des terrains*, p. 5.

preinte ou le moule intérieur du corps fossile. On nomme *empreinte* la représentation de la surface extérieure, et *moule intérieur* la représentation d'une cavité, si ce corps en avait une. On peut trouver réunis pour un seul corps fossile, et son moule, et son empreinte; par exemple : Une coquille enfouie dans une couche durcie a été remplie de la pâte de cette couche, qui a pris en même temps l'empreinte de sa forme extérieure; la coquille étant dissoute après la solidification de la couche, laisse intact son moule intérieur, compris dans une cavité dont la surface est l'empreinte exacte de sa forme et de ses accidents extérieurs.

» Lorsque la dissolution du fossile a eu lieu, et qu'il s'est infiltré dans la cavité qu'il a laissée vide une matière étrangère, inorganique, qui s'y est monlée de telle sorte qu'elle représente avec la plus grande exactitude le corps fossile lui-même, on nomme *contre-empreinte* le résultat de cette opération, tout à fait comparable à celle d'un mouleur, qui d'un moule obtient une statue de plâtre absolument semblable à celle sur laquelle le moule a été fait. La contre-empreinte peut être produite par des matières pulvérulentes tombées dans une cavité par une fente, et agglutinées entre elles par un ciment. Souvent elle est occasionnée par l'infiltration d'un suc pierreux, par une sorte de suintement dans la cavité qu'a laissée le corps. Dans ce cas, une cristallisation confuse et quelquefois géodique a lieu.

» Il ne faut pas confondre cet état cristallin avec la spathification, qui n'appartient qu'à certains corps fossiles qui présentent toujours la même structure, quelles que soient les circonstances où ils se sont trouvés pour devenir fossiles. Il y a de fortes présomptions pour croire que l'organisation donnée à ces corps par les animaux qui les habitaient, a eu une très-grande influence sur l'état particulier où on les trouve, quoiqu'ils se présentent toujours cristallisés. M. Deshayes ne pense pas qu'ils aient été dissous, puis remplacés par une matière étrangère; il croit qu'étant poreux, leur imbibition d'un suc cristallin calcaire a pu déterminer un arrangement nouveau de molécules organiques, ou bien les a cuvés, pour ainsi dire, de telle sorte, qu'elles

n'ont pu s'opposer à la cristallisation, mais l'ont déterminée dans une forme constante. Les échinodermes fossiles offrent un exemple de ces corps spathifiés. On les trouve toujours cristallisés en lames rhomboïdales, lorsqu'on les brise, quelle que soit la nature de la roche dans laquelle ils sont contenus. Ce fait s'explique par la force de la cristallisation, qui est telle que les corps étrangers ne peuvent l'empêcher¹. »

On trouve une grande différence dans l'état de conservation des différents fossiles : les uns sont les corps eux-mêmes qui ont été conservés et qui, dans ce cas, sont presque toujours altérés; tels sont la plupart des bois, des lignites, le mammoth qui a été trouvé avec sa chair et ses poils au milieu des glaces de la Sibérie, etc.; les autres, imprégnés, comme nous l'avons dit tout à l'heure, par un suc pierreux, ont changé de nature et ont conservé leurs formes avec une exactitude quelquefois bien remarquable.

Tantôt les fossiles sont entiers, et quelques-uns, les coquilles surtout, ont conservé une partie de leur couleur; tantôt ils sont brisés et presque méconnaissables. Les squelettes, composés de parties plus dures, se sont généralement bien conservés; mais il est bien rare qu'ils soient intacts, les os en sont presque toujours dispersés. On trouve cependant des squelettes entiers, et l'on a été jusqu'à distinguer la place qu'occupaient les intestins de certains animaux, par la présence et la disposition de cailloux roulés qu'ils avaient avalés. Les excréments fossiles se rencontrent aussi quelquefois dans plusieurs roches de sédiment.

De la nature minérale des fossiles.

Diverses substances remplacent la matière qui formait les fossiles à l'époque de leur enfouissement, en sorte que leur nature est quelquefois entièrement changée. La roche et les débris qui y sont contenus peuvent être formés par le même minéral, mais le contraire arrive aussi assez fréquemment. Les deux substances pierreuses qui se substituent

¹ DESHAYES, *Coquilles caractéristiques des terrains*, p. 10.

le plus souvent aux corps organisés sont la *silice* et le *carbonate de chaux*.

Les matières végétales sont plutôt transformées en *silice* qu'en *carbonate de chaux*, et cette transformation se fait si exactement pour certains troncs d'arbres, que l'on retrouve les pores, les vaisseaux vides au lieu d'être remplis, et que MM. Nicol et Witham sont parvenus à déterminer des bois pétrifiés par cet examen. Quelques fossiles animaux, comme un grand nombre d'*oursins*, de *radiaires*, de *polypiers*, et quelques *coquilles univalves* sont aussi changés en *silice*. On trouve aussi, mais bien plus rarement, des coquilles bivalves.

Presque tous les mollusques sont changés en *carbonate de chaux*, et ce sont les fossiles les plus répandus.

Après ces deux sortes de pétrifications, les *charbonneuses* sont les plus communes et appartiennent aussi presque toutes au règne végétal. Les tiges et souvent les fruits sont changés en une matière analogue au charbon; quelquefois l'écorce seule a subi cette modification.

On trouve aussi des fossiles formés par le *fer hydraté* et par le *fer sulfuré*, qui est tantôt la pyrite ordinaire, tantôt la pyrite blanche. Quelquefois ils sont en *cuivre gris* ou en *cuivre carbonaté*, en *arragonite*, en *chaux fluatée*, rarement en *strontiane*, en *galène* et en *gypse*.

Du gisement des fossiles dans les couches.

Les pétrifications ne sont pas toujours distribuées également dans les roches; il y a, au contraire, de grandes exceptions. Tantôt elles occupent un espace limité où elles sont entassées pêle-mêle; tantôt elles forment de grandes masses qui se reproduisent sur des espaces plus ou moins étendus; il arrive aussi que la roche n'est qu'un agrégat de fossiles. Le plus souvent il y a un certain ordre de superposition, de sorte que certains lits de la même couche en sont abondamment pourvus, tandis que d'autres en sont tout à fait privés. Lorsque dans un même dépôt il y a un grand nombre de couches, ce que nous venons d'observer pour des lits d'une même assise se reproduit à plus forte raison

dans cette circonstance. Tantôt c'est dans la partie supérieure du dépôt que ces débris sont déposés, tantôt c'est dans les couches inférieures ou au milieu du terrain. Il semblerait que certaines roches favorisent leur dépôt, comme celui de la *silice* dans les couches de craie, de la *bonille* dans les grès bonillers, etc.

D'autres fois c'est la texture de la roche qui détermine le plus ou moins d'abondance des fossiles et leur distribution dans une couche.

Leur position peut encore donner des indications fort curieuses. Ainsi, un animal posé à plat dans le sens des couches et souvent un peu comprimé; des poissons, la bouche ouverte, prouvent qu'ils ont été successivement reconvertis par des dépôts qui s'opéraient dans des eaux où leurs cadavres avaient été charriés. Des squelettes entiers indiquent aussi que les animaux qui les ont fournis vivaient près des lieux où ils ont été trouvés. Une foule d'observations minutieuses peuvent faire connaître si les débris organiques sont arrivés entiers ou décomposés dans le lieu de leur enfouissement.

On trouve des pétrifications à tous les niveaux possibles, quelquefois à une grande profondeur, d'autres fois sur des montagnes très-élevées; mais souvent aussi les roches qui les contiennent ont été déplacées après leur dépôt.

De la distribution des fossiles.

Quand on compare soigneusement les fossiles contenus dans des roches d'âge différent, on remarque une très-grande différence dans leurs caractères. Ce ne sont pas du tout les mêmes débris que l'on rencontre dans les anciens et dans les nouveaux dépôts. Aussi, on se sert avec beaucoup d'avantage de la connaissance de leurs caractères pour déterminer l'âge des couches.

Dans les terrains modernes, c'est-à-dire dans les roches de sédiment, qui sont très-rapprochées de la surface de la terre, on trouve que les fossiles se rapportent à des espèces actuellement vivantes; mais dans les terrains anciens, les espèces sont tout à fait distinctes; on ne peut les rapporter à aucune

espèce vivante; ce sont les débris d'un ancien monde organique, qui n'existe plus et dont nous essaierons, par la suite, de faire connaître quelques habitants.

Cependant, au milieu de cette abondance de débris, on distingue facilement, même parmi les espèces perdues, celles qui vivaient dans les eaux douces et à la surface de la terre, de celles qui habitaient les mers, et l'on partage ainsi très-naturellement les fossiles en deux classes, selon leur origine présumée.

On conçoit très-bien que certains dépôts ne contiennent que des espèces appartenant à l'une ou à l'autre de ces deux divisions; mais ce qui est plus difficile à expliquer et ce que nous devons seulement citer ici, c'est le mélange de ces deux sortes de coquilles dans un même dépôt. Ordinairement, il est vrai, les fossiles d'eau douce occupent la partie supérieure, mais souvent aussi il y a plusieurs su-

perpositions successives, et quelquefois même l'ordre ordinaire est renversé.

C'est ici surtout qu'il importe de bien examiner l'état des fossiles pour deviner, s'il est possible, dans quelles circonstances ils ont été enfouis, s'ils ont vécu près des lieux où ils se trouvent, si des cours d'eau les ont charriés, et comment enfin il a pu se faire que des êtres aussi différents par leur habitation puissent se trouver réunis dans de communes catacombes.

Nous ne pousserons pas plus loin pour le moment les intéressantes considérations qui nous sont offertes par les fossiles. Nous aurons fréquemment à revenir sur ce sujet; d'abord en examinant les causes qui ont agi pendant le dépôt des roches de sédiment; ensuite en étudiant séparément les grandes formations qui recouvrent la terre, et enfin en nous occupant de la distribution géographique des êtres organisés aux diverses périodes d'existence de notre planète.

CHAPITRE QUATRIÈME.

DES CAVERNES.

Nous venons de voir dans les chapitres précédents, que toute la partie intérieure de la terre, qui est accessible pour nous, était composée de deux grandes classes de roches: les uns qui s'étaient déposées tranquillement sur une surface préexistante, les autres formant cette surface primitive, puis étant revenues percer et pénétrer dans tous les sens les couches régulières, qui s'étaient formées par sédiment dans de grands lacs d'eau douce ou salée. De là deux sortes de terrains, ceux qui sont cristallisés et formés par injection ou épanchement; ceux qui ont été déposés par les eaux qui tenaient en suspension des débris arrachés aux terrains antérieurs.

On prévoit déjà que les roches cristallisées ont été fondues, et que celles qui ne le sont pas, ne constituent qu'un dépôt mécanique. Ces

présomptions deviennent pour ainsi dire des vérités quand on songe que les premiers terrains sont remplis de minéraux cristallisés, tandis que les autres sont pétris de débris organiques. Il est bien évident que les corps organiques n'auraient pu vivre dans des matières fondues et que des cristaux insolubles dans l'eau, n'auraient pu se former au sein de ce liquide.

Nous savons que les minéraux, comme les fossiles, sont distribués très-inégalement dans les roches, et que la régularité, ou plutôt l'homogénéité d'une couche, est souvent dérangée par de petits accidents, comme des veines, de petites fissures, des amas de minéraux, désignés sous le nom de rognons, nids, noyaux, etc. Mais ce qui arrive pour une couche isolément, a lieu souvent pour

leur ensemble, et de grands dépôts formés par la superposition d'un grand nombre de couches sont dérangés par des causes diverses. La principale est, sans contredit, celle dont nous avons déjà parlé, l'apparition de roches cristallisées en masses, qui pénètrent et disloquent les conches de sédiment, et il faut encore y joindre l'action des tremblements de terre, les effets des eaux et la puissance de quelques autres agents, dont nous essaierons par la suite de démontrer l'intensité.

Toutes ces causes, tantôt réunies et plus souvent séparées, ont produit, dans divers terrains, des cavités ou des fentes dont les dimensions sont extrêmement variables, et qui se sont formées à des époques quelquefois très-éloignées.

Plusieurs de ces cavités ont été remplies, soit par des injections, soit par des matériaux qui ont pénétré par des ouvertures extérieures. On donne à ces vides ainsi comblés, le nom d'*amas*, de *filons* et de *fentes remplies*, et l'on réserve celui de *cavernes* ou de *grottes* pour celles qui sont vides en totalité ou en partie.

Ces dernières doivent seules attirer notre attention pour le moment, et nous reprendrons ensuite l'étude des *amas*, des *filons* et des *fentes remplies*, qui dépendent de phénomènes particuliers.

Les cavernes sont quelquefois entièrement vides; mais le cas est rare. Ordinairement elles renferment des lacs, des ruisseaux ou enfin des cours d'eau souterrains, dont l'histoire semble essentiellement se rattacher à leur formation, ou bien elles contiennent des ossements fossiles enfouis dans une couche de limon ou encaissés dans des concrétions de carbonate de chaux qui sont encore une production fort commune dans un grand nombre de grottes.

Tous les terrains présentent des cavernes; mais ceux qui sont formés de roches dures et cristallisées en offrent beaucoup plus rarement que les autres, tandis qu'ils abondent en filons remplis.

C'est principalement dans les roches calcaires que l'on trouve les plus grandes cavernes; telle est celle de Caripe en Amérique, décrite par M. de Humboldt, et qui a 2,800 pieds

de longueur; celle de la Balme, citée par Sanssou, longue de 1,500 pieds. On en connaît en Saxe de beaucoup plus longues, qui ont plusieurs lieues d'étendue, et qui communiquent avec d'autres cavernes. On pourrait encore ranger parmi ces sortes de cavités le pont de l'Arc sous lequel coule la rivière d'Ardèche. Il est formé d'une arche à plein cintre, qui traverse un rocher calcaire de plus de 16 mètres d'épaisseur; sa hauteur est de 25 à 30 mètres, et sa largeur d'environ 60.

On connaît plusieurs voûtes de ce genre. M. de Humboldt a décrit le pont d'Icononzo, près de Bogota. On en cite également en Virginie, sur la rivière de James et dans plusieurs autres localités.

Les grandes cavernes offrent ordinairement une suite d'étranglements et d'évasements alternatifs, après des couloirs très-étroits où l'on peut à peine passer en rampant. Il n'est pas rare de trouver des excavations de plus de cent pieds en tous sens. Cependant le niveau de leur sol reste sensiblement le même pour la plupart d'entre elles. Quelquefois aussi il y a plusieurs salles placées les unes sur les autres et dans lesquelles on ne peut pénétrer qu'au moyen d'échelles. On a décrit un grand nombre de grottes et de cavernes, et presque toujours on y a ajouté des choses merveilleuses, que des observateurs véridiques n'ont pas retrouvées. Mais en mettant de côté tout ce qui est exagération, les petits voyages souterrains que l'on entreprend pour la visite de ces cavités n'en sont pas moins intéressants et instructifs; aussi, plusieurs d'entre elles ont acquis une grande célébrité. Telle est, par exemple, celle d'Antiparos, située sur un îlot de l'Archipel.

« Cette île, dit Tournefort, quelque misérable qu'elle paraisse, renferme une des plus belles choses qu'il y ait peut-être dans la nature.

« Une caverne rustique se présente d'abord, large d'environ trente pas, voûtée en arc surbaissé. Ce lieu est partagé en deux par quelques piliers naturels.... Entre les deux piliers qui sont sur la droite, est un petit terrain en pente douce. On a gravé en cet endroit, au bas d'un rocher dont la croupe est assez plate, l'inscription que l'ambassadeur Nointel y fit mettre en 1673.... On avance ensuite

jusqu'au fond de la caverne, par une pente plus roide, d'environ vingt pas de longueur. C'est le passage pour aller à la grotte, et ce passage n'est qu'un trou fort obscur, par lequel on ne saurait entrer qu'en se baissant, et sans le secours de flambeaux. On descend d'abord dans un précipice horrible, à l'aide d'un câble que l'on prend la précaution d'attacher tout à l'entrée. Du fond de ce précipice, on se coule, pour ainsi dire, dans un autre lieu plus effroyable, dont les bords sont fort glissants, et qui répondent, sur la gauche; à des abîmes profonds.

» Après tant de fatigues, on entre enfin dans cette admirable grotte que M. de Nointel ne pouvait se lasser d'admirer.

» Le bas de cette grotte, sur la gauche, est fort scabreux; à droite, il est assez uni, et c'est par là que l'on passe pour aller à l'autel. De ce lieu, la grotte paraît haute d'environ quarante brasses (ou deux cents pieds) sur cinquante brasses (ou deux cent cinquante pieds) de large. La voûte en est assez bien taillée, relevée en plusieurs endroits de grosses masses arrondies, les unes hérissées de frontons, les autres bosselées régulièrement, d'où pendent des grappes, des festons et des lances d'une longueur surprenante.

» À droite et à gauche, sont des espèces de tours cannelées, vides la plupart, comme autant de cabinets pratiqués autour de la grotte. On distingue parmi ces cabinets un gros pavillon formé par des productions qui représentent si bien les pieds, les branches et les têtes de choux-fleurs, qu'il semble que la nature nous ait voulu montrer par là comment elle s'y prend pour la *végétation des pierres*.

» Sur la gauche, un peu au delà de l'entrée de la grotte, s'élèvent trois ou quatre piliers ou colonnes de marbre, plantés comme des troncs d'arbre, sur la crête d'une petite roche. Le plus haut de ces troncs a six pieds huit pouces, sur un pied de diamètre, presque cylindrique....

» Il y a sur le même rocher quelques autres piliers naissants, qui sont comme des bouts de cornes. J'en examinai un assez gros, qui peut-être fut cassé du temps de M. Nointel; il présente véritablement le tronc d'un arbre coupé en travers. Le milieu, qui est comme le cœur

ligneux de l'arbre, est d'un marbre bruni, large d'environ 3 pouces, enveloppé de plusieurs cercles de différentes couleurs, ou plutôt d'autant de *rieux* *aubiers* distingués par six cercles concentriques, épais d'environ 2 ou 3 lignes, dont les fibres vont du centre à la circonférence. Il semble que ces troncs de marbre végètent; car outre qu'il ne tombe pas une goutte d'eau dans ce lieu, il n'est pas concevable que des gouttes tombant de 25 ou 30 brasses de haut, aient pu former des pièces cylindriques terminées en calotte, dont la régularité n'est point interrompue....

» Au fond de la grotte, sur la gauche, se présente une pyramide bien plus surprenante, qu'on appelle *l'autel*, depuis que M. de Nointel y fit célébrer la messe en 1673....

» Cette pièce est tout isolée, haute de 44 pieds, semblable, en quelque manière, à une tiare relevée de plusieurs chapiteaux cannelés dans leur longueur, et soutenus par leurs pieds, d'une blancheur éblouissante, de même que tout le reste de la grotte. Cette pyramide est peut-être la plus belle *plante de marbre* qui soit dans le monde. Les ornements dont elle est chargée sont tous en eboux-fleurs, c'est-à-dire terminés par de gros bouquets mieux finis que si un sculpteur venait de les quitter.

» Au bas de l'autel, il y a deux demi-colonnes, sur lesquelles nous posâmes des flambeaux pour éclairer la grotte et la considérer à loisir....

» Pour faire le tour de la pyramide, on passe sous un massif ou cabinet de congélations, dont le derrière est fait en voûte de four. La porte en est basse; mais les draperies des côtés sont des tapisseries d'une grande beauté, plus blanches que l'albâtre. Nous en cassâmes quelques-unes, dont l'intérieur nous parut comme de l'écorce de citron confite. Du haut de la voûte qui répond sur la pyramide, pendent des festons d'une longueur extraordinaire, lesquels forment, pour ainsi dire, l'attique de l'autel.

» M. de Nointel, ambassadeur de France à la Porte, passa les trois fêtes de Noël dans cette grotte, accompagné de plus de cinq cents personnes.... Cent grosses torches de cire et quatre cents lampes y brûlaient jour et nuit.... L'ambassadeur coucha presque vis-à-vis de

l'autel, dans un cabinet long de sept à huit pas, taillé naturellement dans une de ces grosses tours dont on vient de parler.

» A côté de cette tour, se voit un trou par où l'on entre dans une autre caverne, mais personne n'osa y descendre ¹. »

La France contient aussi un assez grand nombre de ces cavernes. On en trouve dans plusieurs départements : celui de la Dordogne, dont le sol est en partie formé par un calcaire analogue à celui du Jura, en renferme plusieurs très-intéressantes.

La principale, appelée la Grotte de Miremont, et située à peu de distance de Bagne, arrondissement de Sarlat, est plus habituellement désignée par les gens du pays sous le nom de *Trou de Granville*. L'ensemble de ces vastes excavations, qui offrent à peu près la forme d'un fer à cheval, présente dans son plan une suite de chambres ou de salles dont quelques-unes ont plus de 20 mètres et même 50 mètres de hauteur. On prétend qu'il faut près de sept heures pour parcourir la grotte dans le sens de sa longueur et en suivant seulement son axe. Outre quelques concrétions de formes très-variées, et auxquelles on a donné, dans le langage populaire, des noms plus ou moins bizarres, on remarque avec surprise la régularité de plusieurs de ces salles dont le plafond, assez vaste, ne laisse apercevoir aucune inégalité. Ces différentes pièces ont reçu des dénominations particulières, déterminées par ce qu'elles offrent de plus curieux, ou par les usages auxquels elles semblent destinées : ainsi on traverse successivement la chambre des Gâteaux, celle des Coquillages, la salle du Marché, etc. ; dans le plafond de toutes ces salles, comme dans l'intérieur des excavations qu'elles offrent en plusieurs endroits, et qui ont reçu le nom de cloches, on remarque de nombreuses incrustations, des tubercules siliceux (quartz-agathe-pyromaque), recouverts d'un oxyde de fer jaunâtre, et formant une suite de rameaux entrelacés dont l'effet général est très-agréable. C'est ce qu'offre de plus curieux en ce genre la grotte de Miremont, où l'on chercherait en vain ces brillantes stalactites que présentent avec tant de profusion, les grottes de

la Bourgogne et de la Franche-Comté, et celle de St.-Robert dans le département de la Corréze. On fait remarquer aux voyageurs, vers le milieu de celle que nous décrivons, une pierre assez étroite et longue d'environ 12 mètres, que les gens du pays appellent la *Tombe de Gargantua* ; il y avait aussi, tout près de là, un ruisseau qui a disparu tout à coup, il y a quelques années, et dont le lit, extrêmement sinueux, frayé à travers des roches très-élevées, est aujourd'hui entièrement à sec ².

Nous joignons à cette description un dessin qui pourra donner une idée des embranchements et des ramifications des cavernes. (Fig. 9 et 10.)

Les terrains volcaniques ont aussi leurs cavernes qui sont quelquefois très-étendues ; mais pour ne pas grossir ce volume de descriptions que l'on trouve partout, nous citerons seulement la grotte de Fingal.

« L'entrée de ce beau monument, dit Faujas, a 35 pieds d'ouverture, sa hauteur 33, et sa profondeur 140.

» Les colonnes verticales qui composent sa façade, sont de la plus parfaite régularité ; elles ont 45 pieds d'élévation jusqu'à la hauteur de la voûte.

» Le cintre est composé de deux demi-courbes inégales, et qui forment une espèce de cintre naturel.

» Le massif qui couronne le toit, ou plutôt qui le forme, a 20 pieds dans sa moindre épaisseur ; c'est un composé de prismes d'un *petit calibre*, plus ou moins réguliers, affectant toutes sortes de directions, étroitement réunis et cimentés en dessous et dans les joints par de la matière calcaire, d'un blanc jaunâtre et par des infiltrations zéolithiques, qui donnent à ce beau plafond l'aspect d'une mosaïque.

» La mer pénètre jusqu'à l'extrémité de la grotte ; elle a 15 pieds de profondeur, et, sans cesse agitée, ses vagues se brisent et se divisent en écume, en frappant avec fracas contre le foud et les parois de la caverne. Le jour pénètre en se dégradant, dans toute sa profondeur, avec des accidents de lumière d'un effet merveilleux.

» Le côté droit de l'entrée présente, à sa

¹ TOURNÉFORT. *Voyage au Levant*.

² ALLOU, *Annales des Mines*, t. VII, p. 398.

partie extérieure, un amphithéâtre assez vaste, formé par divers rangs de gros prismes tronqués, sur lesquels on peut facilement marcher ; plusieurs de ces prismes sont *articulés*, c'est-à-dire convexes d'un côté et concaves de l'autre.

» Les prismes, d'un basalte noir extrêmement dur, et d'une grande dureté, ont depuis un pied jusqu'à trois pieds de diamètre ; on en distingue de triangulaires, de tétraèdres, de pentagones, d'hexagones ; quelques-uns ont 7 à 8 pans. J'ai remarqué plusieurs gros prismes, sur la troncature desquels on reconnaît très-bien des ébauches de petits prismes, c'est-à-dire que ces prismes sont formés d'un basalte qui a tendance à se diviser lui-même en prismes ; de manière qu'un gros prisme est composé d'ébauches de plusieurs petits.

» On peut entrer dans la grotte par le côté droit seulement, en suivant la plate-forme dont j'ai parlé ; mais la voie se rétrécit, et la route devient bien difficile....

» A mesure qu'on approche du fond de la grotte, l'espace de balcon hardi sur lequel on a cheminé, s'agrandit et présente un emplacement assez vaste, disposé en plan incliné, formé par des milliers de colonnes verticales tronquées.

» On arrive ainsi à l'extrémité de la grotte terminée par un mur de colonnes d'un seul jet et d'une égale grandeur, qui imitent un buffet d'orgues.

» Un fait digne de remarque, ajoute Fanjas, c'est que lorsque M. Troil visita la grotte, la mer, par un de ces cas extraordinaires, qui n'arrivent pas tous les dix ans, était si calme, qu'elle lui permit d'entrer en bateau tout au fond de la grotte. Il trouva, un peu au-dessus de la surface de l'eau, une espèce d'ancre d'où il sortait un bruit fort agréable à chaque fois que le gonfle absorbait l'eau. »

Les géologues ne sont pas plus d'accord sur la cause qui a creusé les cavernes que sur un grand nombre de phénomènes de la nature.

On les a attribuées à l'action de l'eau, qui aurait usé peu à peu le rocher, jusqu'à ce qu'elle se soit frayé un passage. On a cru avec plus de raison peut-être, que des eaux chargées d'acide carbonique, avaient opéré une sorte de dissolution calcaire dont la grandeur

des cavernes indiquait l'intensité et la durée. On a même voulu les expliquer par des souflements de gaz. On les a attribuées à la dissolution de sels ou de matières solubles renfermées par masses irrégulières au milieu des calcaires, soit enfin aux affaissements des couches ou à leur retrait, quand elles passaient à l'état de siccité.

M. Parandier, qui a lu sur les causes de l'existence des cavernes un mémoire très-instructif à l'académie des sciences de Besançon (séance annuelle de 1853), n'admet aucune de ces hypothèses, sans cependant les exclure entièrement. On ne peut, dit-il, les attribuer à l'action corrosive des eaux actuelles, car l'observation de ce qui se passe chaque jour prouve d'une manière évidente :

1° Que loin d'agrandir les grottes et les cavités, ces eaux y forment en général presque partout des dépôts plus ou moins considérables, et qui s'accroissent de jour en jour ;

2° Que l'aggrégation de nos roches est telle que l'action érosive des eaux, lors même qu'elle serait compliquée de celle des cailloux et des sables qu'elles pourraient transporter, n'est pas assez sensiblement appréciable pour qu'on puisse lui attribuer des phénomènes aussi considérables que ceux dont il s'agit.

M. Parandier pense aussi que les soufures, les affaissements et les dissolutions n'ont pu produire des cavités que dans certaines circonstances très-rares.

Il attribue la formation de toutes ces cavernes à la combinaison des quatre classes de faits suivants :

1° L'état de résistance, de dureté ou de mollesse des diverses formations calcaires à l'époque des bouleversements qu'elles ont éprouvés, et leur durcissement progressif depuis cette époque ;

2° La température et la densité des eaux (déterminant, tout égal d'ailleurs, leur puissance de corrosion), à l'époque désignée, et la diminution progressive de ces propriétés dans la suite des temps ;

3° Les soulèvements qui ont eu lieu avant et pendant le retrait des eaux, et conséquemment les formes que ces soulèvements ont données à la superficie du sol ;

4° L'abaissement progressif du niveau des eaux, d'abord sur toute l'étendue d'une con-

trée, puis dans les vallées seulement, et les alternatives fréquentes et immenses de ce niveau.

Nous discuterons plus loin quelques-unes de ces causes présumées pour l'origine des cavernes, mais on doit voir déjà la vérité de ce que nous avons avancé, en disant que la na-

ture avait toujours plusieurs moyens à sa disposition pour arriver au même but, et qu'il fallait prendre bien garde de trop généraliser.

Nous allons terminer ce qui est relatif aux cavités par l'examen des courants d'air et des cours d'eau souterrains.

CHAPITRE CINQUIÈME.

DES EAUX SOUTERRAINES.

On sait depuis longtemps qu'il existe presque partout des eaux souterraines qui forment, à une profondeur variable, des lacs, des ruisseaux et des rivières. Plin en cite plusieurs exemples, tels que l'*Alphée* dans le Péloponèse, le *Tigre* en Mésopotamie, le *Timæus* du territoire d'Aquilée, etc.

Ce phénomène se reproduit pour ainsi dire dans tous les pays, et principalement dans ceux qui, étant formés de certaines roches calcaires, sont, par cela même, criblés de cavités plus ou moins profondes.

Presque toutes les cavernes un peu longues sont traversées par un cours d'eau qui peut-être leur a donné naissance. M. de Humboldt, qui a parcouru la fameuse caverne du Guaëbaro, dans la vallée de Caripe, sur une étendue de 1,458 pieds, a suivi le cours d'un ruisseau pendant ce long trajet, et arrivé à cette distance, il a rencontré une petite cascade souterraine¹.

La caverne de Adelsberg en Carniole, dans laquelle la rivière de Poick s'engouffre, et où ses eaux se perdent et renaissent à plusieurs reprises, a déjà été visitée par les curieux, dans une étendue de plus de deux lieues. Un grand lac, qui ne pourrait être traversé qu'en bateau, a empêché jusqu'ici de pousser l'exploration plus loin. S'il faut en croire les récits des derniers voyageurs, plusieurs des

nombreux compartiments dont cette caverne se compose surpassent en longueur, en largeur et en élévation les plus grandes cathédrales².

Un grand nombre de rivières pénètrent aussi dans l'intérieur du sol, disparaissent pendant un certain temps, puis reviennent au jour à une certaine distance. Tantôt elles sont absorbées par des lits de sable ou de gravier; tantôt, et plus souvent, elles entrent dans de véritables cavernes.

Ainsi, la Drome, réunie à l'Aure dans le Calvados, disparaît entièrement au pied d'une carrière de calcaire compacte, à un myriamètre environ de la mer. Le trou dans lequel elle s'engouffre, et qui a 10 à 12 mètres de diamètre, est connu dans le pays sous le nom de *Fosse-du-Soucy*; mais il n'arrive là qu'une partie de ses eaux, le reste est absorbé par d'autres trous situés à peu de distance dans la prairie qu'elle traverse avant de disparaître définitivement. Sur le bord de la mer, on trouve à marée basse, un grand nombre de sources jaillissantes, que l'on regarde comme provenant du cours souterrain de la Drome.

L'Aros dans les Pyrénées, à peu de distance de Seraucolin, passe sous une montagne et repartit de l'autre côté.

¹ *Voyage aux régions équinoxiales*, t. III, p. 165.

² ARAGO, *Annuaire du bureau des longitudes*, 1835.

La Meuse disparaît à Bazoilles et reparait à Noncourt, près de Nenfchâteau, après un cours souterrain de plus d'un myriamètre. M. Héricart de Thury a observé l'ancien lit, qui est entivé, au-dessus du lit souterrain.

Le ruisseau de Villers-Cotterets, département de l'Aisne, s'engouffre dans un entonnoir de 3 à 4 mètres de diamètre, dans lequel se perdent également tous les torrents qui descendent des hauteurs voisines, sans que cependant jamais il déborde.

La rivière de Lesse, en Belgique, entre aussi avec vitesse, dans une grande caverne, et en sort une demi-lieue plus loin. On peut pénétrer en bateau sous la voûte dont elle s'échappe, et l'on arrive ainsi à des cascades qui empêchent d'aller plus loin. J'ai vu distinctement, dans la même vallée, l'ancien lit de la rivière et d'autres grottes dans lesquelles elle s'engouffre aussi dans ses débordements.

La Gaudiana se perd dans un pays plat, au milieu d'une immense prairie. Voilà pourquoi les Espagnols, quand on leur parle avec éloge de quelque grand pont de France ou d'Angleterre, répliquent qu'il en existe un en Estramadure, sur lequel cent mille bêtes à cornes peuvent pâtre à la fois¹.

Le Rhône se perd et s'engouffre dans les cavités souterraines du défilé du fort de l'Écluse, où il coupe la chaîne calcaire du Jura. Dans les basses eaux, il disparaît en totalité pour reparaitre à quelque distance de là.

Le Ceder-Creek, en Virginie, s'engloutit sous une voûte naturelle qui réunit deux montagnes escarpées, séparées par une fente de 277 pieds de profondeur.

On pourrait probablement citer aussi le fleuve Zaïre au Congo en Afrique. MM. Tuekey, Smith et Fitzmaurice ne virent pas sans surprise, dans leur malheureuse expédition, combien est petite la quantité d'eau qui se fait jour entre les rochers dans la partie resserrée de ce fleuve, lorsqu'on la compare à celle qui remplit son vaste lit, tant près de l'embouchure qu'au-dessus des catactes. Suivant eux, une masse de liquide très-considérable s'écoule par un passage sou-

terrain de plusieurs lieues d'étendue, et ne ressort qu'à *Pointe-Sondie*, où elle donne naissance à des tourbillons très-rapides, et qui dérangent le cours régulier du courant.

D'après une lettre du docteur Whito au docteur John Davy, il existe sur la côte de Céphalonie, à une demi-lieue environ de la ville d'Argostoli, près de l'entrée du port, quatre endroits où l'eau de la mer s'engouffre continuellement par des ouvertures du sol, et il en résulte un courant considérable. Ce phénomène est connu depuis longtemps des habitants, qui n'ont cherché ni à l'expliquer ni à en tirer parti. Un Anglais a fait, il y a plus d'un an, une tentative heureuse en employant la force d'un de ces courants pour faire tourner une roue de moulin. Au moyen d'une excavation artificielle, il s'est procuré une chute de deux pieds et demi, et l'eau s'écoule avec une vitesse de 13 pieds par minute, en présentant une section de 200 pouces carrés. L'écoulement dure, sans interruption, depuis cette époque, et M. Stephens a observé que les fortes secousses de tremblement de terre sont sans action sur lui.

Il arrive aussi que plusieurs filets et même plusieurs ruisseaux pénètrent dans l'intérieur du sol, s'y réunissent comme ils le font à sa surface, et enfin se rassemblent en une véritable rivière, qui sort tout à coup de cavernes inconnues. Telle est l'origine de la Sorgue qui forme la fontaine de Vaucluse. (Fig. 5.)

Quand elle est le moins abondante, son produit se monte cependant encore, d'après les jaugeages de M. J. Guérin, à 444 mètres cubes d'eau par minute. A l'époque des plus fortes crues, elle fournit, dans le même temps, une quantité de liquide trois fois plus grande qu'à l'étiage, où 1,350 mètres cubes dans son état moyen : l'observation donne 890 mètres cubes par minute, près de 13 cent mille mètres cubes par jour, et 468 millions de mètres cubes en une année, quantité à peu près égale à la masse totale de pluie qui, dans cette région de la France, tombe chaque année sur une étendue de 30 lieues carrées.

C'est sans doute aussi à des circonstances analogues qu'il faut rapporter l'origine de la belle fontaine de Nîmes.

¹ ARAGO, *Annuaire du bureau des longitudes*, 1835.

Dans les grandes sécheresses, le produit de cette fontaine se réduit quelquefois à 1,550 litres par minute; mais qu'il pleuve fortement dans le nord-ouest de la ville, jusqu'à 10 ou 12,000 mètres de distance, et très-promptement, d'après ce que M. Valz a écrit à M. Arago, une crue de la fontaine se manifeste, et à ce faible débit de 1,550 litres par minute en succède un de 10,000 litres, et malgré cette énorme augmentation de volume, la température de l'eau ne varie presque pas. En résumé, il pleut seulement au loin, dans la direction du nord-ouest, et la fontaine de Nîmes augmente; ainsi son eau vient de loin par de longs canaux, ce que confirme d'ailleurs la constance de sa température dans les crues les plus fortes et les plus subites. La crue succède à la pluie à de courts intervalles. Ainsi l'eau a franchi rapidement de grands espaces, ce qui n'est nullement le caractère d'une filtration, quelque perméabilité qu'on voulût d'ailleurs attribuer au terrain; la fontaine de Nîmes est donc alimentée par une ou plusieurs rivières souterraines.

Les bassins fermés de la Grèce, percés sur leurs flancs par de larges fentes qui donnent un prompt écoulement aux eaux, nous montrent un phénomène analogue à ceux que nous venons de décrire.

Non-seulement il existe, comme on le voit, de nombreux cours d'eau souterrains, mais on connaît aussi des lacs qui sont dans la même situation.

C'est ainsi qu'en 1792, on vit un lac se former subitement dans un faubourg de la ville de Lons-le-Saulnier. Plusieurs maisons s'y abîmèrent ainsi qu'une partie de la route de Lyon à Strasbourg. L'affaissement du terrain découvrit un lac souterrain qui était ignoré.

Dans un grand nombre de cavernes on trouve de vastes marres d'eau, qui empêchent de les parcourir ou de les utiliser. Le niveau de ces eaux peut même varier et quelquefois donner naissance à des phénomènes fort curieux, comme ceux que présente le lac de Zirchnitz dans les Alpes de la Carniole. Ce

lac, qui a une lieue et deux tiers de long sur une lieue de large, s'emplît et se vide alternativement. Voici la description qu'en donne M. Roussel, voyageur anglais :

« Vers le milieu de l'été, au temps des plus grandes sécheresses, quand la neige a disparu du baut du lac, les eaux commencent à décroître. Si la sécheresse est grande et prolongée, le décroissement est rapide, et le lac est à sec en peu de semaines. Bientôt une riche végétation sort du limon abandonné par les eaux. Si l'été s'annonce bien, les paysans des environs ensemencent le fond du lac en trèfle, en sainfoin, en luzerne ou simplement en graine de foin. Ils cultivent aussi le riz dans les parties plus élevées. Deux mois après, de hautes herbes ondulent sous le souffle des vents, là où des vagues s'agitaient sous les coups de la tempête; et le chasseur poursuit le gibier aux lieux mêmes où, peu de temps auparavant, ses lignes faisaient la guerre au brochet avide. Au moment où les eaux du lac sont entièrement écoulées, on distingue parfaitement les canaux, ou plutôt les cavernes qui leur servent d'issues. Quelques-unes sont dans le fond même du lac, et d'autres sur les côtés. L'entrée de plusieurs d'entre elles est praticable, mais on ne peut avancer longtemps; l'eau et le rétrécissement de ces conduits sont des obstacles insurmontables. Toutes ces cavernes ont une pente plus ou moins inclinée; elles règnent également dans la partie méridionale du lac. Quand les pluies d'automne commencent à tomber, les eaux commencent à sortir de ces réservoirs souterrains; et si les pluies continuent, les eaux jaillissent avec une telle rapidité, qu'on les voit souvent lancer des brochets meurtris et défigurés par le choc qu'ils ont éprouvé contre les rochers qui garnissent l'intérieur de ces cavernes. Alors les oiseaux s'échappent, par volées, des touffes de verdure qui vont disparaître. Les cultivateurs retirent en hâte ce qui reste de grains coupés, et ce lac devient en peu d'instants une immense nappe d'eau. » Le temps de l'émersion dépend de la sécheresse même de la saison. En 1821, par exemple, les eaux s'écoulèrent au commencement de l'été, reparurent à la fin de novembre et se retirèrent de nouveau à la fin de février 1822. Il faut remarquer qu'il n'a-

¹ ARAGO, *Annuaire du bureau des longitudes*, 1835.

vait pas plu depuis le commencement de janvier et que les neiges des montagnes étaient gelées. Quand l'été est humide, il arrive quelquefois que le lac ne se dessèche pas entièrement; prouve quo ces sources ne sont pas souterraines, quoique les canaux qui les conduisent dans le bassin soient souterrains.

« Il ne parait pas difficile d'expliquer ce phénomène; il ne mérite pas même l'étouement des nombreux voyageurs et des naturalistes qui en ont parlé. Toute la chaîne des montagnes voisines se compose d'un calcaire poreux, au travers duquel pénètrent les eaux pluviales et celles qui proviennent de la fonte des neiges. L'intérieur de cette chaîne est coupé et traversé en tous sens par une suite de galeries et d'excavations dans lesquelles les eaux viennent se réunir, d'où elles poursuivent leur course jusqu'à ce qu'elles trouvent une issue, comme dans la vallée de Planina ou dans le lac de Zirchnitz. L'immense quantité de poissons qui se retirent avec les eaux de ce dernier, et qui reviennent avec elles, prouve que les réservoirs souterrains, dans le sein de la montagne, sont assez étendus et assez profonds pour qu'ils y puissent vivre et prospérer.

« Quant aux canaux d'écoulement, il est impossible de les suivre, et par conséquent d'établir rigoureusement le point où ils déchargent leurs eaux; mais on peut arriver à des conjectures qui ont toute l'apparence d'une démonstration, et on observe que tout le pays, à partir des frontières du nord de la Carniole, jusqu'aux rivages de l'Adriatique, et des grottes de Planina jusqu'aux sources du Timavo, est plein de courants qui sortent subitement du sol, et qui annoncent par conséquent une marche intérieure souterraine, que rien n'empêche de rattacher à l'écoulement du lac de Zirchnitz. »

Quelques-unes des ouvertures par lesquelles les eaux sortent des cavernes, donnent aussi issue à des canards qui ont été entraînés dans les grottes, lors de la rentrée des eaux. Comme ceux que l'on a retrouvés depuis dans quelques cavernes, ils sont aveugles et presque entièrement nus. La faculté de voir leur revient en peu de temps, mais ce n'est guère qu'au bout de deux ou trois semaines que leurs plumes, toutes noires, excepté sur la tête,

ont assez poussé pour que l'oiseau puisse s'envoler.

Valvasor visita le lac de Zirchnitz en 1687; il y prit lui-même un grand nombre de ces canards, et vit les paysans pêcher des anguilles qui pesaient 2 ou 3 livres, des tanches de 6 à 7 livres, enfin, des brochets de 20, de 30 et même de 40 livres.

C'est dans les mêmes eaux souterraines de la Carniole que l'on a trouvé le *proteus anguinus*, animal si singulièrement organisé, et dont le muséum d'histoire naturelle de Paris possède une copie eu circ parfaitement exécutée.

Si nous joignons à ces nombreux exemples ceux que nous offre tous les jours le pécement des puits artésiens, nous resterons convaincus qu'il existe à des profondeurs variables, dans l'intérieur du sol, des nappes d'eau quelquefois superposées, de vastes amas, de véritables rivières souterraines, qui sont en communication directe avec le sol extérieur, mais qui peuvent aussi, dans certains cas, en être entièrement séparées.

Les cavernes ne contiennent pas seulement de l'eau liquide, elles en renferment aussi à l'état de glace, et l'on connaît plusieurs de ces *glacières naturelles* qui sont citées comme des merveilles dans plusieurs ouvrages de géographie physique.

Nous avons déjà parlé de la caverne de Fondeurle, dans laquelle M. Héricart de Thury trouva de beaux prismes hexaèdres. Nous allons donner quelques autres exemples extraits d'un mémoire que M. Delue a publié sur cet objet¹, et nous commencerons par celle de la Chaux, située à six lieues de Besançon, sur laquelle on a écrit plusieurs fois².

« On descend dans cette grotte par une rampe très-rapide de 64 toises de longueur, 22 toises de largeur, sur 31 toises de chute. Les premières vingt-six toises de cette rampe sont entièrement à découvert et par conséquent exposées à toutes les intempéries de l'air. Le reste est recouvert d'une voûte à

¹ *Annales de chimie et de physique*, t. XXI, p. 118.

² Voyez le Mémoire de M. Girard-Chantrons, *Journal des Mines*, n° XXI; Lettre de M. de Croismare, en 1731; Lettre de Cosigny à Réaumur, du 29 novembre 1745.

peu près elliptique et formée d'un seul rocher. La hauteur de la voûte est de 11 toises environ. Du pied de la rampe au fond de la grotte, il y a 22 toises d'un sol d'abord horizontal, puis se relevant et se terminant comme le fond d'un sac. Ainsi, la partie de la grotte qui se trouve à l'ouest, à 68 toises de longueur; vers son extrémité inférieure, elle est surmontée d'une épaisseur de terrain de 24 toises. Au travers de ce terrain, qui est un rocher, il n'y a aucune communication avec l'air extérieur, et M. de Cossigny, qui passa plusieurs heures dans cette cavité glacée, et à différentes reprises, ne parle d'aucun courant d'air. L'air y est donc tout à fait stagnant, et une fois qu'il y aurait là une masse de glace, elle ne pourrait se fondre que très-lentement; car la glace accumulée communique la température froide à l'air immobile intérieur et au terrain environnant, comme cela arrive dans les glaciers artificielles bien construites.

» M. de Cossigny, qui visita cette grotte deux fois en 1743, aux mois d'août et d'octobre, remarque qu'en tout temps le sol du fond est une nappe entière de glace, et que le terrain du bas de la rampe est très-dur, parce qu'il est gelé. Il y avait cependant un peu d'eau claire en quelques endroits, au-dessus de la glace. Cette eau pouvait provenir de celle qui dégoutte de la voûte par filtration; car M. de Cossigny, pendant qu'il prenait ses notes, recevait souvent sur les mains et sur son papier de larges gouttes d'eau qui tombaient de divers endroits de la voûte.

» Pendant les observations qu'il fit dans ses deux voyages, son thermomètre était monté d'un demi-degré depuis le matin. M. de Cossigny remarqua que des masses de glace, qui étaient dans l'intérieur le 7 août, étaient fondues en octobre, ce qui prouve que la glace ne s'y forme pas en été plus qu'en hiver, comme on l'a affirmé pour d'autres glaciers naturelles.

» Il n'y a aucune source dans cette caverne; elle ne reçoit d'autres eaux que celle qui dégoutte de la voûte, et celle qui coule par la rampe dont une partie est à découvert, en sorte que cette partie reçoit, chaque année, assez d'eau des pluies et des neiges qui

se fondent dans la saison, et qui ne peuvent se rendre ailleurs que dans la grotte, où l'air est assez vif pour la glace. On n'a jamais enlevé, observe M. de Cossigny, et on n'enlève point assez de glace pour faire une diminution sensible à ce que tant de pluies, de neiges et de filtrations fournissent de tous côtés, dans cette grotte, depuis des milliers d'années; d'où il conclut qu'une partie de l'eau qui s'y rassemble doit s'échapper par-dessous, en filtrant dans la terre.

» M. de Cossigny visita de nouveau cette caverne le 22 avril 1743; il y fit deux observations de thermomètre : l'une à cinq heures du matin, et l'autre à midi. Dans la première, le thermomètre se fixa au terme de la glace, et dans la seconde, à un degré au-dessus. L'auteur termine sa lettre en disant que l'état intérieur de la caverne ne change pas notablement de l'hiver à l'été; que le degré de congélation y règne continuellement, en sorte qu'il n'est pas surprenant que la glace s'y accumule. Il survient seulement, par intervalles, de petits dégels qui produisent un peu d'eau fluide venant des pyramides de glace ou des gouttes d'eau qui tombent de la voûte, tandis que le sol de la caverne est d'ordinaire une nappe de glace.

» Lorsque M. le professeur Prévost visita cette grotte, au milieu d'août 1769, tout le fond, depuis le pied de la rampe jusqu'aux lieux où le sol s'élève, était recouvert d'un pavé de glace solide, dans lequel s'ouvraient de petits puits où l'eau paraissait voisine du point de la congélation. Ces puits, ou plutôt ces creux étaient formés par la stillation des eaux supérieures, qui entretenaient, par leur écoule lente mais continuelle, ce magasin d'eau et de glace. En sondant un de ces puits, la hauteur de la glace sur le sol parut être d'environ un pied. M. Prévost remarque que l'ouverture de la caverne étant tournée vers le nord presque plein, tirant un peu vers l'est, elle est exposée, en hiver, aux vents glacés qui soufflent de ce rhumb. »

Après avoir décrit celle des glaciers naturelles qui a été examinée avec plus de soin, et sur laquelle il ne peut rester aucun doute quant à la cause qui forme la glace dans son intérieur, M. Deluc en décrit deux autres, et commence par celle de Saint-George, située

dans le Jura, à la hauteur de 427 toises au-dessus du lac de Genève.

« C'est une cavité profonde d'environ 25 pieds, dans laquelle on descend par deux ou trois échelles, dont la première est droite, et dont l'autre ou les deux autres sont inclinées comme le terrain sur lequel elles reposent. L'on arrive, au bas de ces échelles, dans une espèce de salle dont la voûte est formée par des couches qui se rencontrent sous différents angles. Lorsque M. Colladon, pharmacien de Genève, visita cette glacière le 4 octobre 1807, il y avait beaucoup de neige à l'entrée perpendiculaire la plus en butte aux vents. De même, à la fin de juillet 1822, il y avait un monceau de neige au pied des échelles. Dans les deux occasions, cette neige s'était conservée depuis l'hiver précédent, malgré les chaleurs de l'été. Quand on a fait quelques pas dans cette cavité, sur un terrain pierreux, on marche sur une glace très-épaisse, qui est renfermée dans un profond bassin. La longueur de la surface glacée était, lors du voyage de M. Pictet (le 7 juillet 1822), de 75 pieds, et la largeur moyenne de 40 pieds; le thermomètre se maintenait à $+1^{\circ}$ vers le milieu de la grotte, à deux pieds au-dessus de la surface de la glace. Le mur naturel qui contient la glace à droite est presque vertical. »

On voit que cette glacière est une espèce de puits dont le fond est beaucoup plus étendu que l'ouverture. Avec une telle conformation, on ne conçoit pas comment un courant d'air pourrait s'y établir; aussi M. Pictet n'en aperçut-il aucun. Une glacière artificielle ne pourrait pas être mieux placée, pour que la glace pût s'y conserver, car une condition essentielle pour cette conservation est que l'air ne s'y renouvelle pas, afin qu'il garde tout le froid que l'hiver et la glace formée lui communiquent. La neige qui s'engouffre à l'entrée de cette grotte pendant l'hiver, et dont une partie paraît y rester toute l'année, contribue avec la nappe de glace à maintenir dans l'intérieur la température de la congélation, en sorte qu'il arrive quelquefois en été, que, pendant la nuit, les morceaux de glace que l'on coupe et qu'on laisse en contact, se trouvent adhérer entre eux. Cette glacière, par sa position dans un creux profond, dans un sens vertical, a beaucoup

de rapport avec celle de Besançon, et il est clair, par conséquent, que c'est par les mêmes causes que la glace s'y forme et s'y conserve; le froid qui y règne en été, n'est pas plus extraordinaire que celui qui règne dans une glacière artificielle; c'est la glace formée qui retient pour ainsi dire prisonnier le froid de l'hiver.

« La troisième glacière naturelle dont nous devons nous occuper est celle du Mont-Vergi, située à une hauteur d'environ 800 toises au-dessus du niveau du lac. Son entrée est une voûte surbaissée, qui a 45 pieds de largeur à sa base, et 17 pieds de hauteur. Depuis l'entrée, la cavité s'élargit beaucoup, l'excavation a 122 pieds de longueur; on y descend par un plan incliné en pente douce, au bas duquel est une esplanade horizontale de glace vive, de 70 pieds de longueur sur 30 de largeur: vers le fond, cette glace monte en pente contre le rocher qui termine la grotte. La température, à un pied au-dessus de la glace, était à -1° , 2. » Tel était l'état de la glacière lorsque M. le professeur Pictet la visita le 17 juillet 1822; voici maintenant ce qu'elle présentait à M. Colladon, lorsqu'il y monta le 21 juillet 1807. Je copierai ses propres paroles, tirées d'un mémoire manuscrit.

« A droite, à quelques pieds de l'entrée, on voyait une petite étendue d'eau, qui pouvait avoir un pied dans sa plus grande profondeur; l'eau nageait sur un fond de glace très-dure, dont on ne pouvait connaître l'épaisseur. On descend de 2 ou 3 pieds depuis l'entrée jusqu'au bord de l'eau: deux thermomètres, dont l'un a été placé dans l'eau, et l'autre à quelques pas de l'entrée, près de terre, accusaient zéro. Au fond, contre les parois de la grotte, on voyait quelques stalactites d'une glace très-belle; nous n'aperçûmes aucun courant d'air, aucune communication dans le fond de la glacière avec l'air extérieur: » ce qui se conçoit facilement, puisqu'elle est creusée dans une masse de rochers, qui appartient à la masse centrale de la montagne. L'observation de M. Colladon est positive; ainsi donc il n'y a dans cette grotte d'autre ouverture que la voûte surbaissée par laquelle on y entre; elle est, comme les deux précédentes, placée de manière à ce que l'air

ne puisse s'y renouveler que très-lentement ; ce n'est donc pas à des vents froids particuliers, qui traverseraient cette grotte, que l'on peut attribuer la formation et la conservation de l'esplanade horizontale de glace qu'on y observe ; il n'y a d'autres causes que le froid des hivers, qui sont très-rigoureux et très-longes à la hauteur où cette glacière est située.

« Il paraît que, dans les trois glacières dont nous venons de nous occuper, il y a un fond plat, ou plutôt creux, où les eaux peuvent former un étang plus ou moins profond, et d'où par conséquent elles ne peuvent pas s'écouler ; c'est là qu'elles se gèlent en hiver, et comme ce sont des endroits renfermés, où l'air ne peut pas circuler, les chaleurs de l'été ne peuvent y pénétrer que très-faiblement. La glace, une fois formée dans de telles cavités, ne se fond que très-lentement, car l'on sait qu'en se fondant, elle absorbe 60 degrés de chaleur ; et où trouver cette chaleur dans un air toujours glacé, et presque immobile ?

Par un froid rigoureux, la glace se forme avec une très-grande promptitude, tandis qu'elle se fond avec beaucoup de lenteur, lors même que la température de l'air est de plusieurs degrés au-dessus de zéro. Quelle ne doit donc pas être cette lenteur, lorsque la température de l'air intérieur ne s'élève en été que d'un degré au-dessus du point de la congélation. Il faudrait plusieurs étés pour fondre cette glace, lors même qu'elle ne se reformerait pas chaque hiver. »

Quoique l'origine de la glace contenue dans ces cavernes soit due, comme le dit M. Deluc, au froid des hivers, il ne s'ensuit pas qu'il ne s'en forme pas aussi par une évaporation rapide. On en a cité plusieurs fois des exemples, et il en existe de très-remarquables dans quelques cavités de la lave du Puy-de-Côme, en Auvergne.

Ceci nous mène naturellement à parler des courants d'air froid que l'on observe dans certaines cavités.

CHAPITRE SIXIÈME.

DES COURANTS D'AIR DANS LES CAVERNES.

Plusieurs grottes, et quelquefois de simples fentes, laissent échapper des courants d'air qui ont souvent occupé les naturalistes, mais dont la théorie paraît maintenant parfaitement établie.

Saussure cite, dans ses voyages, plusieurs de ces caves à air froid. Il commence par celles du mont Testaccio à Rome. L'abbé Nollet les observa dans son voyage en Italie, et trouva leur température de 9 degrés $\frac{1}{10}$, le 9 septembre 1749, tandis que le thermomètre en plein air était à 18°, et il remarqua que leur fraîcheur est d'autant plus étonnante, qu'elles ne sont point profondes ; que l'on descend à peine pour y entrer, et que le soleil frappe pendant une grande partie du jour la porte par laquelle on y entre.

Saussure observe qu'il les trouva, lui-même, encore plus fraîches lorsqu'il les visita le premier juillet 1773. L'air extérieur était à 20 degrés $\frac{1}{10}$; celui d'une de ces caves était à 8 ; celui d'une autre à 5 $\frac{1}{10}$; et celui d'une troisième à 5 $\frac{1}{4}$. Ces caves sont adossées à la montagne, et occupent presque toute sa circonférence. Les murs du fond sont percés de soupiraux par lesquels entre l'air froid, qui vient lui-même des interstices que laissent entre eux les débris d'urnes, d'amphores et d'autres vases de terre cuite dont cette petite montagne (d'environ 300 pieds de hauteur) paraît entièrement composée (§ 1403).

Il est encore plus étonnant que, sous un climat plus méridional (celui de Naples) et dans une île comme celle d'*Ischia*, toute volcanique,

toute remplie d'eaux thermales, il se trouve un semblable vent frais dans une grotte. Le 9 mars, le thermomètre, à l'ombre, était de 14 degrés; au fond de la grotte, Saussure observa qu'il descendit à 6; et on lui dit que dans les grandes chaleurs il serait descendu encore plus bas. A Ottaiano, au pied du Vésuve, il y a une grotte semblable.

A Saint-Marin, dans le duché d'Urbain, il y a des caves froides au pied d'une sommité de grès sur laquelle est bâtie cette ville. Le 9 juillet, le thermomètre, qui était à 13 degrés en plein air, descendit à 6 dans les caves, qui sont à près de deux mille pieds au-dessus du niveau de la mer (§ 1407).

A Cési, qui est à six milles au nord de Terni, dans l'État Ecclésiastique, il y a des caves qui sont adossées à un rocher calcaire, dont les crevasses laissent échapper un air froid, qui en sort avec tant de force qu'il éteignait presque les flambeaux; et dans les jours très-chauds, il est encore plus froid. En hiver, au contraire, le vent s'engouffre avec violence, et d'autant plus que le froid est plus rigoureux.

Lorsque Saussure fit l'épreuve de la température de ce vent souterrain, la journée se trouvait froide pour la saison et le climat, car c'était le 4 juillet, et l'air extérieur n'était qu'à 14 degrés $\frac{1}{2}$, mais le vent qui sortait du rocher n'était qu'à 5 degrés $\frac{3}{4}$ (§ 1408).

Les *cantines* ou *caves froides* de Chiavenne, au nord du lac de Côme, sont aussi adossées à un rocher qui est au sud-est de la ville. L'air froid entre dans les caves par les crevasses de ce rocher, qui est composé d'une stéatite durcie, tapissée en divers endroits d'asbeste et d'amiante flexible. Le 5 août 1777, à midi, le thermomètre, dans ces caves, était à 6 degrés, tandis qu'à l'air extérieur il était à 17.

Saussure fait remarquer que ce n'est point à la nature de la roche qu'on peut attribuer ce refroidissement de l'air, puisqu'à Cési il sort d'une montagne calcaire, à Saint-Marin d'une montagne de grès, et à Chiavenne d'une montagne de stéatite (§ 1409).

Les caves les plus froides que Saussure ait observées sont celles de Caprino, au bord du lac et de la ville de Lugan. Ces caves sont au pied d'une montagne calcaire, dont la pente, très-rapide, vient se terminer auprès du lac.

Dans la première visite que Saussure fit à ces caves, le 29 juin 1771, le thermomètre qui, en plein air, à l'ombre, était à 21 degrés, y descendit à 4 $\frac{1}{2}$. La seconde fois qu'il les vit, le premier août 1777, le thermomètre ne descendit que jusqu'à 4 $\frac{1}{2}$; il était, à l'air extérieur, à 18. Ce qu'il y a de remarquable, c'est que ces caves ne sont point creusées dans la terre : leur sol est de niveau avec le terrain; le mur de face et le toit sont extérieurement à l'air; il n'y a que le *refor* du fond et une partie des murs latéraux qui soient enterrés dans le pied de la montagne.

Il faut, ajoute Saussure, que la cause de ce phénomène soit très-étendue; car il y a de ces caves froides jusqu'à Capo-d'i-Lago, à 8 milles de Capoue, et même jusqu'à Mendrisio, qui est encore une lieue plus loin; il y en a même sur la rive opposée du lac; on dit aussi qu'il y en a sur les bords du lac de Côme.

Les caves froides d'Illergisweil, près de Lucerne, sont les seules que Saussure ait observées en deçà des Alpes. Le village d'Illergisweil est au fond d'un petit golfe du lac de Lucerne. A dix minutes du village, au pied de la montagne, on trouve ces caves froides, qui ne sont autre chose que de petites huttes toutes en bois, excepté le mur du fond qui est, comme à Lugan, appliqué contre les débris accumulés au pied du rocher. Ce mur est en pierres sèches, et c'est par leurs interstices qu'entre dans la cave le vent froid qui sort des débris de la montagne. Le 31 juillet, à midi, le thermomètre qui, en plein air, était à 18 degrés $\frac{3}{10}$, descendit à 5 $\frac{3}{10}$, dans le fond de la cave.

La montagne est calcaire; elle a ses couches relevées contre les caves; son pied s'avance dans le lac de Lucerne, où il forme un promontoire; c'est une des bases du mont Pilate. Le lac est très-profond auprès de ce rocher (§ 1411).

On trouve en Catalogne des caves très-froides situées au pied du volcan du Batet, et qui ont été très-bien décrites par M. de Billy.

« On observe à la base de la montagne un phénomène assez singulier; ce sont des courants d'air froid, qui sortent de plusieurs points, et que l'on désigne dans le pays sous le nom de *bufadors*. Ils sont assez forts pour entraîner des corps légers et s'échappent avec plus ou

moins de rapidité de quelques excavations creusées naturellement dans les laves et les pouzolanes de la surface du sol. Plusieurs de ces bufadors sont tout près de la Flavia; les plus remarquables se trouvent à Olot même, autour de la place Saint-Cristobal, sur la rive droite de la rivière.

» Suivant le docteur Bolos, ces courants n'amènent ni mauvaise odeur ni gaz étranger; ils ne diffèrent de l'air atmosphérique ambiant que par leur température. Les courants sont plus forts en été, ils sont à peine sensibles et même nuls en hiver; leur température est probablement constante, quoique l'on prétende, dans le pays, qu'ils sont plus froids dans la première de ces saisons.

» Les maisons construites au-dessus des bufadors, en retirent de grands avantages, surtout pendant l'été. Les courants d'air froid répandent de la fraîcheur autour des habitations qu'ils atteignent, et permettent de conserver les substances alimentaires beaucoup plus longtemps que ne le permettrait la température de l'atmosphère ¹.

On connaît aussi en France plusieurs cavernes qui présentent ce caractère. Outre celles qui existent en Auvergne, on en rencontre dans le département de la Drôme, qui ont été décrites par M. Legras.

Sur le territoire de Luc, non loin du lieu appelé le Clap, il existe sur le rocher une fente longitudinale, large seulement de quelques décimètres, d'où il sort pendant l'été un courant d'air frais, qui est surtout sensible dans le temps des grandes chaleurs; il est alors assez fort pour agiter les feuilles des buissons qui croissent près de là: ce vent cesse lorsque la température vient à baisser, et dans l'hiver il change de direction, c'est-à-dire que l'air extérieur s'engouffre dans la cavité, au lieu d'en sortir; sa vitesse, dans ce cas, est d'autant plus grande que le froid est plus vif.

Pour se rendre compte de ce singulier phénomène, Saussure suppose dans le sein des montagnes de vastes cavernes, qui ne sont pas assez profondes pour être inaccessibles à la chaleur de l'été et au froid de l'hiver, et qui le sont cependant assez pour que d'une

saison à l'autre la température n'y varie que de quelques degrés. L'air qui s'y trouve renfermé étant, dans cette hypothèse, successivement condensé et dilaté, donne lieu à une aspiration et à une expiration alternatives rendues sensibles par un courant à l'extrémité des issues étroites, par lesquelles ces cavernes communiquent au jour. D'après le même auteur, l'air, en sortant, est refroidi par l'évaporation de l'eau qui tapisse des parois de presque toutes les grottes; et c'est pour cette raison que sa température est constamment au-dessous de la moyenne des lieux.

Quelque grande que soit l'autorité de Saussure, dit M. Legras, les progrès récents de la physique ne permettent pas d'admettre son explication, au moins en totalité. On sait aujourd'hui que l'air ne se dilate, pour un degré centigrade, que de 0,00375 de son volume à zéro; par conséquent, une grotte de 1,000 mètres cubes de capacité, dont la température moyenne serait de 10°, et où le thermomètre varierait de 3° en dessus et au-dessous de ce terme, ne pourrait fournir, au plus, que 2,88 mètres cubes d'air: si l'on donne à l'orifice de sortie une surface seulement d'un décimètre carré, et au courant une vitesse de cinquante centimètres par seconde, en moins d'une heure et quatorze minutes tout cet air serait éconlé. Quelle immensité tout à fait invraisemblable et même impossible ne faudrait-il pas attribuer à cette caverne, si elle pouvait alimenter un vent violent et continu pendant tout l'été! D'un autre côté, il a été nécessaire de supposer son intérieur inaccessible aux variations journalières de la température. Or, ceci ne s'accorde point avec cette circonstance très-remarquable du phénomène que, pendant l'été, la violence du vent augmente ou diminue en même temps que la chaleur; on pourrait encore objecter avec raison que l'air qui séjourne dans les grandes cavités souterraines, est toujours saturé d'humidité et par conséquent impropre à produire une évaporation capable d'abaisser sa température de plusieurs degrés.

L'explication suivante est, selon M. Legras, plus simple et s'accorde mieux avec les faits:

« Il suffit d'admettre que les cavités dont

¹ DE BILLY, Volcans éteints des environs d'Olot. *Annales des Mines*, 2^e série, t. IV, p. 190.

il s'agit, sans avoir des dimensions extraordinaires, communiquent au dehors par plusieurs crevasses, les unes situées à la base de la montagne, et par lesquelles s'échappent les vents frais, les autres existantes à un niveau plus élevé, et ignorées; leur température intérieure doit être à peu près constante, et, comme on le verra bientôt, plutôt au-dessous qu'au-dessus de la moyenne du pays en été. L'air souterrain étant plus froid, et par conséquent plus pesant que l'air extérieur, doit s'écouler par les ouvertures inférieures, de la même manière qu'un liquide qui s'échappe d'un vase: ce qui produit un courant froid, sortant par le bas et un courant chaud entrant par le haut. En hiver, c'est tout le contraire; l'air intérieur, étant spécifiquement plus léger que le reste de l'atmosphère, s'élève: le sens des courants est alors interverti. On conçoit facilement que, dans les deux cas, la vitesse de l'air doit être d'autant plus grande que la différence des densités, au dehors et au dedans, est elle-même plus considérable. Pour expliquer comment la grotte ne s'échauffe pas, et reste même au-dessous du tempéré, l'évaporation imaginée par Saussure est tout à fait admissible et suffisante, parce que dans l'hypothèse où nous sommes placés, l'air qui entre est sec et se renouvelle sans cesse. Cependant il est à croire qu'en général la température intérieure s'élève peu à peu en été, et qu'elle a atteint son *maximum* en automne; circonstance que favorise la rentrée de l'air dès les premiers froids. Il pourrait arriver que, par suite d'une évaporation abondante, la grotte restât très-froide durant toute la belle saison; alors nécessairement, en hiver, le courant ascensionnel serait nul ou très-faible, l'équilibre de température se trouvant à peu près rétabli.

» L'expérience, continue M. Legras, ne dément point cette conséquence, et il pense même que c'est le cas de la grotte de Gerolstein, sur les bords du Rhin; le vent qui en

sort en été est très-humide et tellement froid qu'il tapisse d'une couche de glace fort épaisse les rochers exposés à son souffle. En hiver, il s'arrête, et la glace cesse de se déposer¹. »

La même explication s'applique parfaitement aux cavités de la coulée de Côme, en Auvergne; elle convient aussi, on ne peut mieux, aux *busadors* du volcan de Batet, et M. de Billy avait déjà donné cette théorie en 1828, par conséquent avant M. Legras.

« La connaissance de la structure de Batet, dit M. de Billy, facilite l'explication de ce phénomène en apparence si extraordinaire; le son sourd que rend cette montagne sous les pieds, ou quand on y laisse tomber un corps pesant, fait présager qu'elle renferme des cavités. On observe, en outre, assez près du sommet, des ouvertures que l'on dit très-profondes, qui pourraient bien communiquer avec les cavernes. Si, de plus, celles-ci étaient liées avec les trous au travers desquels les courants d'air s'échappent, il y aurait communication entre les *busadors* et les ouvertures du sommet de la montagne, et la chose s'expliquerait tout naturellement de la même manière que l'airage d'une mine au moyen de galeries dont les ouvertures sont à des niveaux différents. Toutes les circonstances du phénomène sont d'accord avec cette explication: la constance de la température, l'augmentation de la force du courant en été, sa faiblesse ou sa nullité en hiver, etc.². »

Les cavernes présentant des issues naturelles aux différents corps qui s'échappent de l'intérieur du globe, deviennent quelquefois le siège de plusieurs autres phénomènes qui trouveront place dans la suite de cet ouvrage.

¹ Institut, 21 octobre 1855. Voyez aussi, pour la description de la grotte de Gerolstein, JEAN ARTHAUS, sur les Formations volcaniques des bords du Rhin, *Annales des Mines*, 3^e série, t. II, p. 396.

² DE BILLY, Volcans éteints des environs d'Olét, *Annales des Mines*, t. IV, p. 126.—1828.

CHAPITRE SEPTIÈME.

DES FORCES AGISSANTES OU CRÉATRICES A LA SURFACE DE LA TERRE.

Nous connaissons maintenant la terre où nous vivons, et qui plus tard recevra nos dépouilles. Nous savons qu'elle est enveloppée d'une vaste atmosphère, dans laquelle se passent des phénomènes aussi fréquents que variés. Nous avons vu sa surface sillonnée par de nombreux cours d'eau, et ses bassins occupés par de grands amas de liquide. Nous avons remarqué les inégalités dont elle est couverte, et enfin, pénétrant autant que nous l'avons pu dans son intérieur, nous avons reconnu qu'elle était formée de couches de sédiment, appliquées les unes sur les autres et traversées çà et là par des roches massives et cristallisées, qui souvent ont dérangé la symétrie des premières et les ont brisées ou disjointes. Dans une foule de circonstances, nous avons trouvé des débris de corps organiques, enfoncés à de grandes profondeurs, irrégulièrement dispersés dans les roches, et appartenant souvent à des espèces qui n'existent plus maintenant. Indépendamment de tous ces phénomènes, nous voyons des volcans couvrir le sol de leurs laves, des tremblements de terre soulever de grands espaces et en abîmer d'autres; des eaux thermales s'élever en bouillonnant, et déposer autour d'elles des matières qu'elles vont puiser à d'immenses profondeurs.

Tous ces changements, tous ces mouvements qui ont lieu à la surface de nos continents, nous indiquent assez que des forces puissantes agissent continuellement, et que de grandes réactions s'opèrent encore dans la nature.

En réfléchissant à tout ce qui se passe autour de nous, en étudiant avec soin le résultat de ces actions diverses qui se manifestent sur tous les points du globe, nous apercevons

bientôt deux grandes divisions dans les forces actuellement agissantes.

Les unes agissent de haut en bas, et tendent à détruire les points les plus élevés du globe pour en ramener les débris à la surface.

Les autres, au contraire, agissent de bas en haut, en sorte qu'elles amènent continuellement au dehors des matières qui sont puisées dans l'intérieur.

A la première de ces deux divisions appartiennent l'action des matières qui corrodent et détruisent la surface des roches; l'action des sources qui minent le sol et délaient ses débris; celle des ruisseaux, des rivières et des fleuves qui charrient continuellement les fragments qu'ils arrachent aux montagnes; l'action érosive des cascades et des torrents; la puissance des marées et des courants marins; celle des glaciers et des glaces polaires.

Dans la seconde viennent se ranger tous les phénomènes relatifs à la température intérieure du globe : les éruptions volcaniques, les soulèvements du sol, les tremblements de terre, les eaux thermales, les salses, les lagonis, les dégagements de gaz, les filons d'injections et de sublimation.

Ces deux grandes puissances créatrices opèrent, comme on le voit, en sens contraire, puisque l'une agit de haut en bas, et l'autre de bas en haut; elles ont pour résultat commun de confondre leur centre d'action sur un horizon ou niveau commun qui est la surface de la terre. C'est là que les deux forces sont en présence, c'est là qu'elles ont lutté longtemps; et en réfléchissant seulement à leurs effets éternels, nous devrions conclure théoriquement que la petite portion de la terre dans laquelle nous avons pu pénétrer doit se trou-

ver composée de roches produites par ces deux grandes puissances. C'est en effet ce que l'expérience a depuis longtemps confirmé, et ce que le langage de la science a même, pour ainsi dire, sanctionné, en divisant les terrains qui composent cette écorce en *terrains stratifiés* ou de *sédiment*; *terrains cristallins* ou d'*épanchement*.

Il est encore une autre force créatrice peu importante quant à la masse de la terre, mais du plus haut intérêt pour nous : c'est la *force organique* ou la *vie*, indépendante sans doute par son principe des deux précédentes, mais soumise à leur puissance pour son maintien et sa durée. C'est aussi à la surface du sol, c'est encore au niveau des mers, que cette force atteint son *maximum* d'action. Elle diminue à une certaine élévation, et cesse à peu de distance verticale de ce niveau; elle diminue au-dessous de la surface de l'eau, et s'éteint à la faible profondeur de 200 mètres.

Il se passe encore sur la terre une foule de petites actions qui appartiennent à l'une ou l'autre des trois grandes forces que nous venons de citer. Ce sont des phénomènes *chimiques* et *électriques*, qui apparaissent dans un grand nombre de circonstances, et dont l'action, quand elle s'applique aux corps organisés, ne se manifeste bien qu'après leur mort. C'est encore près de la surface de la terre que leurs effets ont lieu, puisqu'ils sont dépendants des autres, et c'est par conséquent à nos pieds que se développent, à l'époque actuelle, les grands phénomènes de la nature.

L'intensité de ces différentes forces paraît aussi augmenter lorsqu'on approche de l'équateur; elle diminue évidemment vers les pôles et à mesure qu'on s'élève sur les montagnes.

Leurs effets doivent être soigneusement étudiés par le géologue. Il doit s'occuper des plus faibles actions; car, pour l'histoire du globe, c'est l'analogie qui doit principalement servir de guide. On est revenu maintenant de ces grands cataclysmes auxquels on supposait que la terre avait été soumise; on ne cherche plus ces choes de comètes ni toutes ces causes présumées de vastes inondations et de changement de climat; on pense que notre planète contient en elle-même le principe et la cause des nombreux changements qui s'y

sont opérés. En reculant dans l'ordre chronologique des réactions qui s'y manifestent encore de nos jours, en augmentant leur intensité, on trouve naturellement l'explication de tous les phénomènes géologiques; on arrive à cette conséquence, que notre globe est parvenu à un état de stabilité remarquable, dont il n'a pas toujours joui; que les mêmes forces qui se montrent maintenant, ont agi autrefois avec bien plus d'intensité, et qu'il suffit de les augmenter graduellement par la pensée, pour se rendre raison de tous les faits que nous rencontrerons par la suite dans l'étude de la terre.

On observe, en partant de l'époque actuelle pour rétrograder vers les temps antérieurs, ce que verrait un voyageur qui voudrait étudier l'intensité des forces créatrices depuis le pôle jusqu'à l'équateur. Il les verrait progressivement augmenter jusque sous la zone torride. Là il trouverait le *maximum* de notre époque, tandis qu'il aurait presque trouvé le 0 sous la glace du pôle. L'état de notre planète ne peut pas encore être comparé à celui des pôles; mais nous ignorons l'avenir, et tout nous porte à croire que ces forces s'affaiblissent.

Dans l'étude que nous allons faire des forces créatrices, nous les partagerons en *forces extérieures* et *forces intérieures*.

Avant de passer à l'examen des forces intérieures, nous dirons quelques mots des forces organiques, qui semblent plutôt liées aux phénomènes extérieurs qu'aux autres.

Nous aurions dû peut-être, avant d'entrer dans ces détails, qui pourront présenter quelques difficultés aux personnes qui commencent l'étude de la géologie, nous occuper d'abord de l'âge des terrains, des roches qui les composent, enfin de cette masse de faits positifs qui font la base de la bonne géologie; mais nous avons cru qu'en présentant d'abord l'ensemble des phénomènes qui résultent des forces qui agissent encore actuellement et sous nos yeux, l'étude des terrains deviendrait beaucoup plus facile, moins aride et par conséquent plus profitable. Il nous suffira, en effet, de rappeler ces actions de l'époque actuelle, de les agrandir par l'intensité ou la durée, pour expliquer facilement des choses qu'il serait impossible de comprendre sans ces données préliminaires.

CHAPITRE HUITIÈME.

DES FORCES AGISSANTES OU CRÉATRICES EXTÉRIEURES.

Le titre de *destructrices* s'appliquerait peut-être mieux aux forces dont nous allons parler, car elles ont pour effet de dégrader continuellement les terrains, les montagnes et les vallées, et d'entraîner leurs débris; mais comme elles ont pour *résultat* de déposer ces débris dans des lieux moins élevés, et de créer, en quelque sorte, de nouveaux terrains, on peut leur laisser cette dénomination.

Tantôt ces effets ont lieu mécaniquement, par la pression, le frottement, la vitesse de l'air, des météores ou des cours d'eau; tantôt chimiquement, par l'action de l'air, de la lumière, de la température solaire ou d'un grand nombre d'autres corps. Nous étudierons séparément ces deux modes d'action, qui agissent très-souvent ensemble dans la nature.

ACTIONS MÉCANIQUES.

Nous suivrons, dans l'examen des actions mécaniques, l'ordre que nous avons adopté dans la description des phénomènes météorologiques et hydrographiques, déjà étudiés précédemment. Nous verrons successivement l'action de l'air, des vents, des météores aqueux, des sources, des cours d'eau; des mers et des glaces.

Action de l'Air.

L'air ne peut guère exercer qu'une action chimique à la surface du globe, et, sous ce rapport, il joue et a joué un grand rôle, comme nous le verrons plus loin. See et calmé, il ne peut agir mécaniquement sur aucune roche. Sa pression pourrait avoir quelque influence sur certaines décomposi-

tions; mais ces effets actuels, s'ils existent, sont extrêmement faibles. Peut-être, à une époque très-éloignée, l'atmosphère a-t-elle été plus étendue, et alors une plus forte pression a pu agir sur des couches de terrain qui n'étaient pas consolidées. Elle a dû, dans tous les cas, s'ajouter à celle de l'eau. Malgré cela, il est encore douteux que cette cause ait eu quelque influence marquée sur la structure de la terre.

L'air agité ou le vent, surtout lorsqu'il acquiert une certaine vitesse, peut causer de grands ravages, et on en a malheureusement de tristes et nombreux exemples.

Peut-être doit-on à l'action continue des vents alizés et de quelques autres, la constance de direction et l'origine de plusieurs courants marins, qui ont certainement une action marquée sur le fond des mers. Les vents irréguliers et variables concourent aussi à amonceler la neige dans les vallées, d'où elle s'échappe ensuite en torrents impétueux. Leur action sur le sol lui-même, c'est-à-dire leur action directe, est aussi très-puissante. Tout le monde sait que dans les grands déserts de l'Afrique et de l'Asie, le vent soulève le sable en tourbillons immenses, qui ensevelissent tout ce qui se rencontre sur leur passage. Des caravanes tout entières ont péri dans cette circonstance; souvent même l'air est tellement chargé de particules de sable, qu'il peut parvenir à une température bien plus élevée que celle qu'il acquerrait par la simple action du soleil sur les corps gazeux dont il est composé. Il n'est personne qui n'ait remarqué ces légers tourbillons de poussière, que l'on voit naitre et courir avec vitesse dans les rues et sur nos grands chemins. Ce petit phénomène se développe sur de vastes

plaines desséchées, et des masses de terres sont ainsi transportées avec promptitude d'un point dans un autre. « Lorsque, par l'effet vertical des rayons d'un soleil qu'aucun nuage n'arrête, l'herbe brûlée tombe en poussière, le sol endurci se crevasse, comme s'il était ébranlé par de violents tremblements de terre; alors, si des vents opposés viennent à se heurter à sa surface, et si leur choc se termine par produire un mouvement circulaire, la plaine offre un spectacle extraordinaire. Pareil à une vapeur, le sable s'élève au milieu du tourbillon raréfié et peut être chargé d'électricité, tel qu'une nuée en forme d'entonnoir qui, avec sa pointe, glisse sur la terre, semblable à la trombe bruyante, redoutée d'un navigateur expérimenté¹. »

D'autres fois, les vents ont une action lente, mais continue, et quand elle s'exerce sur des sables mouvants et composés d'une infinité de petits cristaux qui glissent les uns sur les autres, ils peuvent changer entièrement l'aspect de grandes surfaces, et l'on voit des collines avancer avec une certaine vitesse. De là ces merveilleuses descriptions de *montagnes qui marchent*, que l'on rencontre dans les ouvrages qui décrivent les merveilles de la nature. Les dunes ou plages de sable, dont les côtes de l'Océan sont bordées dans un grand nombre de pays, et notamment sur les côtes de France, sont fréquemment soumises à ce moyen de transport, et elles avancent presque constamment vers l'intérieur des terres. Cette marche est même assez active sur les côtes de Gascogne. Elle a fait d'immenses progrès d'invasion depuis 1644, époque à laquelle Coulon, dans son *Traité historique des fleuves et des rivières de France*, rapporte que les vents, en transportant les sables, leur faisaient englober les bourgs et les forêts. Michel de Montaigne dit aussi qu'un domaine appartenant à son frère et situé près de la mer, en Médoc, a été enseveli. « Le fait d'anciens bâtiments paraît encore : ses rentes et domaines se sont changés en pasquages bien maigres; les habitants disent que, depuis quelque temps, la mer se pousse si fort vers eux, qu'ils ont perdu quatre lieues de terre. Ces sables sont fourrières, et

voyons de grandes monjoies d'arènes monvantes qui marchent une demi-lieue devant elles et gagnent pays². »

On ne peut se figurer les désastres occasionnés par cette marche progressive de sables, à laquelle de vastes plantations peuvent à peine s'opposer.

L'ancien bourg de Mimizan, département des Landes, est aujourd'hui couvert de hautes dunes de sables, ainsi que l'église paroissiale et les riches possessions d'une communauté de bénédictins établie antrefois dans ce lieu. Les religieux ne pouvant subsister avec les revenus de la dîme attachée à leur prieuré, se retirèrent à St.-Séver, et abandonnèrent aux habitants leur église conventuelle avant son envahissement. Ils espéraient encore qu'un ruisseau qui la séparait des dunes les plus voisines serait un obstacle à la marche des monticules, mais le ruisseau a été comblé, et s'est creusé un nouveau lit plus avant dans les terres, et l'église a été englober. En 1774, on voyait les sables qui avaient franchi le mur du cimetière, qui s'accumulaient contre l'église.

« Il n'y a pas 50 ans que l'on voyait encore dans la paroisse de Saint-Julien, en Born, les belles avenues en prairies et en chênes, qui environnaient de toutes parts la maison de fen Dubroër, ancien receveur de la capitation bourgeoise de cette ville. Les sables, qui étaient éloignés de plus d'un quart de lieue, s'en sont tellement approchés, et s'y sont accumulés à une hauteur si prodigieuse, que les bois les plus à l'ouest, qui étaient de haute futaie et de très-vieux chênes, ne paraissent plus aujourd'hui. La maison anciennement bâtie sur ce bien fut détruite, il y a plus de 20 ans, et transportée à plus de 200 pas vers les terres. On eut la précaution de laisser entre elle et la nouvelle dune, un petit ruisseau qu'on imaginait devoir arrêter le progrès du sable; mais ils ont comblé ce ruisseau, qui s'est pratiqué un nouveau lit plus au levant; et cette nouvelle maison, transportée pour la troisième fois, touche déjà la dune qui doit l'ensevelir un jour. Ce qui reste de chênes sur pied ne végète plus; tous ceux que les sables ont environnés

¹ Humboldt, *Traité de la nature*, t. I, p. 37.

² *Essais*, liv. I, chap. XXX.

sont entièrement desséchés. On aperçoit sur les pentes de cette nouvelle montagne, le sommet des arbres les plus élevés; il y en a qui ne sont ensevelis qu'à moitié, et d'autres au pied desquels le désastre ne fait que commencer.

» Les débordements des étangs et des lacs qui existent dans ces contrées sont encore une suite de l'inondation de ce sable. A mesure que leurs grains s'élèvent en pente donc du côté de la mer, le peu de liaison qu'ils conservent entre eux, et le poids des couches supérieures, forcent celles du centre à céder et à s'écrouler en talus du côté opposé à leur naissance. Ces éboulements avançant continuellement vers les terres, comblent insensiblement les étangs qui les bordent. Cependant les eaux que reçoivent toujours ces étangs par le cours non interrompu de plusieurs petites rivières qui s'y déchargent, se trouvent bornées par ces amas de sable, et s'élèvent jusqu'à ce qu'elles se soient fait une issue pour se jeter dans la mer; ce qui ne peut arriver qu'après avoir causé de nouveaux ravages dans les terres. Le boucan de Contis par où l'étang de St.-Julien se décharge dans la mer, laisse à peine échapper aujourd'hui la sixième partie des eaux que plusieurs gros ruisseaux y entraînent constamment. Son embouchure, d'ailleurs, se comblant chaque jour par le sable que le reflux ne cesse de charrier, il est évident que l'étang gagnant sur les terres l'espace nécessaire pour contenir ses eaux, celles-ci se ménageront quelque autre issue, et qu'elles continueront de renverser tout ce qui pourrait s'opposer à leur nouveau cours.

» C'est par de semblables causes que l'ancienne paroisse de St.-Paul se trouve aujourd'hui sous les eaux de l'étang d'Apréilhan. C'est par une suite des refoulements des lacs qui se forment entre les terres et les dunes qui bordent ces côtes, que le bourg de Bias, son église, ses vignes, et toutes les possessions qui l'entouraient, ont été de nos jours entièrement submergées¹.

Ce qu'on vient de lire prouve que les dunes marchent avec une certaine rapidité. L'ingénieur Bremoncier, qui a publié sur leur fixa-

tion des travaux très-importants, avait calculé qu'elles avançaient d'environ 21 mètres par an, et a prédit l'époque à laquelle Bordeaux subirait le sort des villages dont nous avons parlé plus haut.

Les vents ont, comme on le voit, une certaine influence sur la configuration extérieure des continents. Jusqu'ici nous avons toujours supposé à ces courants d'air une vitesse moyenne; mais dans les tempêtes, quand ils marchent, d'après les suppositions les plus raisonnables, avec une vitesse de 20 à 30 lieues à l'heure, leurs effets sont terribles comme la rapidité de leur course. Alors ils renversent tout ce qui se trouve sur leur passage : arbres, édifices, tout est emporté, ainsi que les êtres vivants qui se trouvent sur la ligne que parcourt le météore. On a des exemples presque incroyables de la force d'un vent, dans ces circonstances heureusement assez rares. Le coup de vent qui, en 1780, ravagea la Jamaïque, commença d'abord à frapper sur la ville de Savannah-la-Mar, dont il fit sur-le-champ un amas de décombres.

En 1831, un affreux ouragan dévasta les Antilles; toutes les constructions s'écroulèrent, ensevelissant sous leurs débris tous les êtres vivants qui s'y trouvaient enfermés. A la Barbade, le vent enleva les feuilles et les jeunes branches des arbres, qui restèrent ainsi dépouillés de toute leur verdure. L'île de St.-Vincent fut atteinte par ce terrible fléau, qui n'épargna pas non plus l'extrémité est de la Jamaïque.

Les eaux cédant à une aussi violente pression, s'agitent d'une manière terrible quand elles sont frappées par de semblables courants d'air, et causent souvent plus de dégâts que le vent lui-même. Ce même ouragan, qui sévit si fortement sur les Antilles en 1831, souleva les eaux à St.-Domingue à une hauteur prodigieuse; et près de Santiago-de-Cuba, tous les vaisseaux qui étaient en rade furent jetés à la côte. Ces coups de vent violents peuvent même changer la configuration du pays; le grand golfe du Zuyderzée, en Hollande, ne date que du 26 novembre 1282, époque où le lac Fiévo rompit ses digues et s'unifia à la mer pendant un violent ouragan. Plusieurs fois les digues de cette contrée furent percées par les mêmes causes. L'ouragan du 19 no-

¹ *Encyclopédie méthodique, article Dunes.*

vembre 1521 fit faire à l'Océan une irruption qui, dans ce même pays, engloutit 72 villages et noya plus de cent mille habitants. Lors du dernier coup de vent (29 novembre 1836), qui fut encore si funeste à tout le nord de la France et de la Belgique, des personnes furent enlevées par sa violence, et l'une d'elles, soulevée à Anvers, tomba dans l'Escaut sans qu'on pût lui porter secours.

Il est rare cependant que des vents aussi violents se développent dans les climats tempérés; c'est sous la zone torride que ce météore acquiert sa plus grande puissance, et nous ne savons pas si, avant le refroidissement complet de la surface du globe, des vents bien plus intenses que ceux dont nous venons de rapporter des exemples, n'ont pas existé. Nous ignorons si notre atmosphère, plus développée, ne pouvait pas donner naissance à de grands courants réguliers qui peut-être se sont opposés, jusqu'à un certain point, au développement des êtres organisés terrestres, ou si, enfin, ces courants n'ont pas eu une grande influence sur le transport des matériaux de sédiment dont se compose l'écorce de la terre, et particulièrement sur les produits pulvéreux lancés par les bouches volcaniques.

Actuellement encore, il existe des contrées où l'on remarque l'influence des vents régnants et presque continus sur la végétation et la distribution des sables des volcans. Ainsi, en Auvergne, les vents d'ouest ont dirigé à l'est presque toutes les ponzzolanes de

ses volcans, et les grands arbres qui végètent au sommet des montagnes, et notamment aux environs du Puy-de-Dôme, sont tous fléchis au levant par la même cause.

On ne peut nier cependant que cette cause de changement ne soit bien moins intense sur la terre, ainsi que sur Mercure et Vénus, qui tournent toutes en vingt-quatre heures sur leur axe, que sur les grosses planètes, telles que Jupiter, Saturne et probablement Uranus. Avec leur rotation rapide de dix heures au lieu de vingt-quatre, leur énorme volume qui augmente la vitesse de la circonférence, et leur puissante atmosphère, il est à peu près certain qu'il règne sous presque tous les parallèles de ces planètes des ouragans perpétuels et tellement violents, que rien ne peut leur résister. C'est avec raison que l'on regarde les bandes qui sont parallèles à l'équateur de Jupiter, comme des courants d'air, sensibles pour nous à une si prodigieuse distance, parce qu'ils charrient sans cesse une soule de débris arrachés à cet astre, qu'ils rendent inhabitable; car, en supposant que Jupiter fût dans des circonstances favorables pour que la vie s'y développât, il est bien certain que, pour cette raison, elle serait confinée à ses deux pôles, dont les habitants seraient éternellement séparés par ces ouragans permanents. Les mêmes causes ne produisent sur la terre que les vents alisés, qui, loin d'être un obstacle à nos communications, les favorisent singulièrement.

CHAPITRE NEUVIÈME.

DE L'ACTION DES MÉTÉORES AQUEUX.

C'est encore chimiquement, plutôt que de toute autre manière, qu'agissent les météores aqueux. Nous aurons donc à reprendre encore leur examen par la suite. Cependant ils ont aussi une action mécanique bien marquée.

L'évaporation agit en desséchant les masses, et les met ainsi dans un état particulier qui leur permet d'être attaquées par certains agents. Ainsi, c'est la grande sécheresse des sables qui les rend susceptibles d'être emportés par les vents; c'est l'absence de l'eau dans les déserts qui permet aux courants d'air d'enlever en tourbillonnant, une portion des sables ou de la terre desséchée. C'est encore l'évaporation qui facilite la sortie de plusieurs sels, et qui détermine l'efflorescence entière de plaines immenses, qui se couvrent de cristaux soyeux, que les pluies viennent entraîner. L'évaporation est, au reste, la cause première des pluies, de la grêle, de la neige, des brouillards, de la rosée, et de toutes ces actions invisibles, qui se passent dans l'atmosphère, et qui jouent un si grand rôle dans la physiologie du globe.

Les neiges agissent par leur poids, surtout lorsqu'elles se sont transformées en glaces, comme nous le verrons par la suite. Quant à la grêle, ses effets mécaniques sont bien peu de chose, et personne n'a imaginé, à ma connaissance, de la faire entrer en ligne de compte dans la succession des événements géologiques. En supposant qu'elle eût été plus abondante autrefois qu'à présent, ce qui est fort invraisemblable, on ne voit pas quels effets un peu marquants elle aurait pu produire. Il n'y a donc réellement que la pluie qui puisse jouer un rôle dans les phénomènes d'action, et ce rôle est l'inverse de l'évaporation. Elle humecte les roches,

elle ramollit les terres, elle retient les sables, elle dissout les sels, et précipite sur la terre toutes les matières pulvérulentes que contient l'atmosphère. Il est rare qu'elle tombe pure. Souvent elle tient en dissolution un peu de sel marin enlevé aux mers pendant l'évaporation ou par les vents. Nous avons vu, en parlant des pluies de sang, de soufre, de cendres, etc., que souvent elle rencontrait des matières en suspension qu'elle entraînait dans sa chute. En effet, si l'on expose une plaque de verre bien propre à l'action de l'eau de pluie, elle restera presque toujours tachée après l'évaporation.

La pluie joue un certain rôle de création pendant les éruptions volcaniques, non pas qu'elle contribue aux éruptions boueuses véritables, mais elle tombe parfois avec tant d'abondance, qu'elle stratifie les sables, les applique sur le flanc de la montagne, ou bien les transforme en globules qui s'entassent les uns sur les autres et forment ces roches à structure globulense, que Breislack a observées plusieurs fois en Campanie.

Elle délaie les couches d'argile, s'infiltre à travers les roches, s'y congèle, et agit alors avec une grande force. Lorsque la pluie est accompagnée d'un grand vent, elle agit aussi avec une grande violence, en formant subitement des torrents dont l'action érosive est excessivement forte; mais cette action appartient déjà à l'histoire des cours d'eau. En comparant la quantité de pluie qui tombe sur les différentes zones du globe, comme nous l'avons fait déjà au commencement de cet ouvrage, nous reconnaissons bientôt que la zone torride reçoit une énorme quantité d'eau. C'est donc encore un phénomène plus actif sous l'équateur qu'au pôle, où il a déjà cessé en-

tièrement. Nous devons conclure de cette augmentation de pluie sous les tropiques, qu'il pleuvait davantage autrefois qu'à présent. Nous pouvons, il est vrai, supposer que dans les premiers âges du monde, notre atmosphère, plus chaude et plus étendue, ne répandait pas encore en gouttelettes l'énorme quantité de vapeurs dont elle était chargée ; mais, en examinant, comme nous l'avons déjà fait, les preuves irrécusables de la diminution des cours d'eau, nous ne pouvons nous empêcher de reconnaître que les pluies ont été bien plus abondantes qu'elles ne le sont maintenant ; et nous devons remarquer que s'il existe des dépôts d'eau douce plus étendus que ceux qui peuvent se former actuellement dans les grands lacs de l'Amérique septentrionale, c'est qu'il tombait dans ces mêmes climats des quantités d'eau capables de fournir à d'aussi grands réservoirs.

Nous reconnattons, du reste, en étudiant les phénomènes de l'intérieur du globe, comment cette supposition s'accorde tout naturellement avec les faits et avec la théorie.

DE L'ACTION DES SOURCES.

Les sources étant très-communes dans presque tous les terrains et possédant une puissance d'action continue, il en résulte qu'elles doivent occasionner des bouleversements assez notables à la surface de la terre. Elles produisent souvent des éboulements qui sont d'autant plus dangereux qu'on est loin de s'y attendre. Leur travail est caché : elles minent lentement le terrain sous lequel elles s'écoulent, et tout à coup la catastrophe arrive. On cite un grand nombre d'accidents de ce genre qui ont eu les suites les plus funestes.

Tel fut l'éboulement des Diablerets, qui eut lieu dans les Alpes, avec un horrible fracas, en 1749. Tel fut celui du pas de Compains, dans le Cantal, dont la date est ignorée, et qui a fait de cet endroit un des points les plus pittoresques de la France.

Il faut rapporter à la même cause le célèbre éboulement de la montagne de Rossberg, dont le diorama a offert un si beau tableau. Cette montagne fait face au mont Righi, en Suisse, et s'élève à 3,196 pieds de hauteur absolue. Les couches, plongeant sous un

angle de 43 degrés environ et très-perméables à l'eau, en furent tellement imbibées, que, le 2 septembre 1806, elles glissèrent avec un fracas horrible dans la vallée de Goldau, qui est à leur pied. On ne peut se faire une idée du désordre qui suivit cet horrible accident. Les rochers et la boue couvrirent la vallée ; les deux villages de Busingen et de Goldau, une partie de celui de Lowertz, le hameau entier de Huelloch, les fermes de Unter-Rothen et Ober-Rothen, et plusieurs autres habitations, disparurent sous les débris de la montagne. Goldau fut écrasé par les fragments des rochers, et Lowertz enseveli sous un torrent de fange. Le lac de Lowertz reçut une telle impulsion, que le village de Seven faillit être détruit par les vagues qui s'y précipitèrent, mais qui n'ahattèrent que deux maisons ; le reste en fut quitte pour une inondation. Des poissons vivants furent portés jusque dans le village de Steinen. Cet éboulement, qui n'était pas le premier qui se soit détaché de cette montagne, a coûté la vie à neuf cents personnes.

Plus récemment un éboulement, moins désastreux cependant, eut lieu à la Dent-du-Midi, dans les Hautes-Alpes, le 26 août 1853. Voici en quels termes M. Lardy le rapporte.

« ... Mardi, 25 août, un violent orage eut lieu, dans la soirée, tout autour de la Dent-du-Midi ; on prétend même que la foudre tomba à plusieurs reprises sur la cime. Le lendemain 26, entre 10 et 11 heures du matin, une portion assez considérable de cette cime se détacha tout à coup sur l'arête orientale et se précipita avec un bruit épouvantable sur le glacier, situé sur le revers méridional de la Dent, dont elle entraîna dans sa chute un immense quartier. Cette masse énorme de pierre et de glace vint s'abîmer dans un ravin profond qui sépare la Dent-du-Midi du col de Nalenfe, et dans lequel coule le torrent de Saint-Barthélemi.

» Bientôt on vit déboucher, de la gorge qui donne issue à ce torrent dans la vallée du Rhône, comme une montagne d'une boue noire et visqueuse, à la surface de laquelle flottaient des quartiers de roe de toutes les dimensions (il y en avait de 12 pieds de hauteur). Cette masse liquide, semblable à une coulée de lave, se dirigea vers le Rhône, au

travers de la forêt de pins qui couvre cette partie de la vallée, entraînant avec elle tout ce qui se trouvait sur son passage. Des arbres de la plus grande taille furent renversés et froissés comme des roseaux. Arrivée sur la berge du fleuve, elle s'y précipita en formant une nappe de boue effrayante à voir. Les blocs qui se trouvaient dans cette boue furent également entraînés dans le Rhône, dont les eaux furent rejetées contre la rive opposée et refoulées en amont à une assez grande distance. La grande route, recouverte par cette boue et ces pierres, devint impraticable, et il fallut construire, au moyen de fascines, un nouveau chemin sur ce sol élastique. Pendant plusieurs jours, les communications entre le Haut et le Bas-Valais n'ont pu avoir lieu qu'au milieu d'un pont très-peu solide qu'on avait jeté sur le torrent, à l'entrée de la gorge. Il est impossible de se représenter quelque chose de plus affreux que ce sillon de 60 à 100 pieds de profondeur, sur une largeur de 200 à 300 pieds, et qui va en s'élargissant jusqu'au Rhône, creusé dans cette boue actuellement figée et dont la surface est parsemée de blocs et de troncs d'arbres. Une petite portion seulement du rocher s'est écroulée sur le revers septentrional de la Dent du-Midi, et descendant par un couloir, est venue reconvrir une partie du glacier qui se trouve de ce côté-là.

M. Élie de Beaumont a donné aussi différents détails sur ce phénomène à une partie duquel il a assisté; il insiste particulièrement sur ce que lui a paru présenter de curieux la manière dont les courants de boue, produits par l'éboulement, se répandaient sur le vaste cône de débris, incliné de 5 à 7°, du torrent de Saint-Barthélemi. Ces torrents de boue ne renfermaient peut-être pas un dixième d'eau; ils déplaçaient des blocs calcaires de plusieurs mètres de côté, et ils les flottaient même sur leur surface, pendant des espaces considérables, presque aussi facilement qu'une rivière flotte des glaçons. Malgré la petitesse de ses dimensions, ce phénomène parut à M. Élie de Beaumont présenter de l'intérêt, à cause des inductions auxquelles il conduit, relativement au mode suivant lequel a pu s'opérer le transport des blocs diluviens.

M. Huot, qui fut également témoin d'une

partie de ce phénomène, ajoute qu'un nuage de poussière s'élevait à une grande hauteur plusieurs jours encore après l'événement, ce qui de loin produisait l'apparence d'un phénomène volcanique.

Les eaux infiltrées ne produisent pas toujours des accidents aussi graves. Quelquefois elles délaient seulement la surface d'un cône d'argile, sur laquelle le terrain supérieur glisse tout entier. Un événement de ce genre eut lieu en 1818, près d'Avesnes (Nord). Une partie d'un petit bois, qui était situé sur une colline assez inclinée, se détacha entièrement avec une épaisseur de terrain d'environ six pieds. Je fus très-surpris, en allant herboriser dans ce bois, le matin, de le trouver au milieu d'une prairie. Les arbres avaient conservé, pour ainsi dire, leur distance respective, et je retrouvai dans une situation relativement la même les plantes que j'avais vues la veille sur le sommet de la colline.

Ce phénomène d'éboulement, produit par des infiltrations, a dû aussi être bien plus actif autrefois, puisque les pluies étaient plus abondantes, et d'ailleurs, il doit devenir de plus en plus rare, car les masses qui tendaient à se précipiter doivent, depuis longtemps, s'être détachées, et l'équilibre doit être établi. Ce ne sont plus que de très-petits accidents, tandis qu'à l'époque de la création ou du soulèvement des montagnes, ces catastrophes ont dû se montrer sous des proportions bien plus grandes et bien plus imposantes.

DE L'ACTION DES COURS D'EAU.

Nous voici arrivés à une cause d'action bien puissante à la surface du globe; car les cours d'eau commencent dès que la pluie touche le sol, dès que l'eau s'écoule d'une source, et depuis cette origine jusqu'à sa jonction avec la mer, l'eau coule, avance, corrode et emporte avec elle des débris qu'elle abandonne ensuite. C'est une force incalculable que celle de la chute de toutes ces eaux dans la mer, à partir du point où elles sont versées sur la terre par l'atmosphère.

Fidèle à nos habitudes, nous allons d'abord étudier les petits effets avant de passer aux grands.

Quand un filet d'eau marche sur un plan incliné, il appuie sur ce plan, et par conséquent il doit l'user à la fois par son poids et par son mouvement. Il faut presque toujours y ajouter une action chimique; car il dissout plus ou moins le corps sur lequel il s'écoule. Si la roche est dure, l'eau reste limpide, elle est à peine attaquée. Cependant, avec le temps, les parois sont polies et paraissent usées; ils le sont en effet. Si la roche est tendre, les mêmes effets ont lieu, mais bien plus rapidement. L'eau se trouble, elle charrie des matières pulvérolentes qui altèrent sa pureté. Un premier résultat est obtenu dans ces deux cas, c'est le creusement d'une petite vallée par érosion.

En suivant toujours notre filet d'eau, nous le verrons, quand la pente sera moins rapide, déposer ce qu'il aura entraîné un peu plus haut. Ce dépôt aura lieu plus ou moins promptement, et de telle manière, que les matières les plus lourdes seront au fond et les plus légères par-dessus. Il y aura donc eu transport de terrain d'un lieu dans un autre; il y aura eu creusement de vallées et formation de *deltas*. La matière prise en haut a été déposée en bas, rien n'a été détruit, rien n'a été créé; il n'y a eu que changement de forme. Nous voyons tous les jours dans les champs, au milieu même de nos terres labourées, une petite averse produire de nombreux filets d'eau, qui agissent comme nous venons de le dire. Ils creusent une petite ornière, et déposent un petit tas de sable en entrant dans le fossé qui est sur le bord du chemin. Il nous suffit d'agrandir le phénomène, pour l'appliquer, avec les mêmes détails, les mêmes caractères, aux ruisseaux, aux rivières et aux fleuves. Pour comprendre sa continuité, nous n'aurons qu'à supposer que l'eau qui a servi à charrier ces matériaux est remontée pour être versée de nouveau, et il suffira pour cela de nous rappeler que l'évaporation est continue. Nous allons d'abord examiner comment les rivières dégradent le sol, nous verrons de quelle manière les matériaux sont transportés, et enfin nous étudierons la création de nouveaux terrains par dépôt ou *sédiment*.

Action érosive des cours d'eau.

Les roches les plus dures sont attaquées

par l'eau, qui commence par en polir les parois et qui finit par les détruire. Il y a sans doute une action chimique qui favorise celle qui est due au simple frottement, mais ce dernier seul agirait encore.

On remarque surtout cette action érosive quand l'eau tombe perpendiculairement d'une grande élévation; aussi, dans les cascades, on trouve presque toujours à la base un creux très-profond que l'eau a formé, une sorte de gouffre dont elle sort en écumant. Les angles des fragments de rochers qui sont tombés au bas de la cascade, sont arrondis peu d'années après leur chute, si ce sont des roches dures; peu de mois après, si les roches sont tendres. Quelquefois même il se forme des excavations latérales dans les points contre lesquels l'eau est renvoyée dans sa chute. Non-seulement le ravin dans lequel elle s'élance s'élargit, mais la hauteur de la chute diminue journellement, d'abord par l'amoncellement des débris à sa base, et secondement par leur séparation du sommet. Le point de départ de l'eau recule continuellement et d'une manière très-sensible dans certains lieux. Aussi, dans les contrées volcaniques, il n'est pas rare de voir des courants de lave dont les bords sont ainsi dégradés par des cours d'eau; de grands quartiers de roches s'en détachent et il se forme une profonde échancrure dans la coulée. Si l'eau ruisselle dans des roches tendres, on voit bientôt se former des ravins très-étendus qui s'élargissent à mesure qu'elles descendent. On en voit beaucoup de ce genre en Auvergne, pays profondément raviné par les eaux. De la ville de Clermont on en aperçoit un sur la montagne de Chanturgue; on le désigne sous le nom de *Creux-Rouge*, à cause de la couleur des sables dans lesquels il est creusé. Le même pays offre de nombreux ravins creusés dans les argiles qui sont dégradées de la manière la plus bizarre. Chaque pluie d'orage change la forme des figures fantastiques que l'eau a sculptées dans l'argile, et elle s'échappe en véritables torrents de boue. Personne ne conteste cette action de l'eau sur un sol tendre et facilement attaquant; mais sans être aussi prononcée, elle est aussi certaine sur les roches du grain le plus fin et de la pâte la plus dure.

Déjà nous avons cité l'ouverture faite par

le Potomack dans les Montagnes-Bleues ; celle du fort l'Écluse, pratiquée par le Rhône, ou plutôt par la masse puissante des eaux du lac de Genève, qui alors s'étendait jusque-là. Nous pourrions produire une foule d'exemples semblables.

M. Strangways a décrit, dans les *Transactions géologiques*¹, la profonde échancrure où l'Imatra se précipite en chutes rapides et nombreuses. Cette rivière lui paraît avoir évidemment creusé ce profond ravin sur un plateau où elle conlait d'abord. Le bord de ce plateau, composé de gneiss, paraît aujourd'hui élevé de 50 pieds au-dessus du niveau de l'eau au bas de la cataracte. « Sa surface (du plateau) est en beaucoup de points tout à fait nue et profondément creusée dans une direction parallèle à celle de la rivière ; elle est couverte de monceaux de galets et de blocs d'un gros volume, dont quelques-uns sont creusés et évidés sous les formes les plus bizarres. L'un des plus gros blocs laissés maintenant à sec, situé à peu près au milieu de la plate-forme, est percé verticalement d'un tron cylindrique. » Il est bien évident, d'après cette description, que le lit de la rivière, primitivement très-large, s'étendait sur une partie du plateau dont une portion a été postérieurement attaquée et creusée assez profondément pour contenir les eaux, qui d'abord s'étendaient sur une grande surface.

M. d'Aubuisson a remarqué des traces bien manifestes de profondes érosions sur deux roches qui s'élèvent sur le bord du précipice que les eaux du Rhin vont franchir à Schaffouse où a lieu la belle chute de ce fleuve. Le Danube pénètre en Valachie par une étroite ouverture que ses eaux ont creusée, et que l'on nomme les *Portes de fer*. La Sioule, près Pontgibaud en Auvergne, s'est fait jour à travers une large coulée volcanique qui était venue barrer son lit. M. Lyell cite une gorge ouverte par la rivière de Simeto dans un courant de lave qui est à la base de l'Etna, et que l'on suppose le résultat de l'éruption de 1605. Si cette date est exacte, ce phénomène offrirait un grand intérêt, en ce qu'il donnerait approximativement la mesure de la force érosive de l'eau dans un espace donné. L'ouverture pra-

tiquée par l'eau dans une lave dure et homogène, aurait, d'après M. Lyell, 40 à 50 pieds de profondeur, et sa largeur varierait depuis 50 jusqu'à plusieurs centaines de pieds. Quoi qu'il en soit, il paraît difficile d'admettre qu'une lave dure ait pu, en 250 ans, être attaquée de cette manière. En Auvergne, où l'on voit souvent des laves corrodées par les eaux, on est bien loin de rencontrer de semblables érosions pour un si court espace de temps. Il faut, si la date de la lave de l'Etna est certaine, qu'il y ait dans cette roche quelque tendance à la décomposition, comme on le remarque si souvent dans les roches volcaniques.

On a un grand exemple de la destruction rapide des terrains dans le saut du Niagara, qui chaque année recule vers le lac Érié d'une manière très-sensible. Il est bien évident qu'autrefois ce saut était sur le bord du lac Ontario. Il a déjà reculé de près de deux lieues, et il ne lui en reste plus que six à dégrader pour se trouver tout à fait sur le bord du lac Érié, dont le niveau devra alors baisser progressivement.

Une des preuves les plus convaincantes que les eaux ont une grande puissance d'érosion, c'est que les grands bassins dans lesquels l'eau s'évapore, au lieu de couler vers la mer, sont entièrement privés de ces gorges ou portes, comme celles qui sont creusées par les eaux à l'issue des grands lacs, ou du moins si ces gorges existent, elles ont cessé de s'approfondir dès que les eaux ont cessé d'y couler. Jamais on ne voit la moindre trace de ces dégorgeoirs dans les bassins fermés qui correspondent à des cavernes intérieures, comme les bassins de la Grèce qui ont été si bien décrits par MM. Virlet et Boblaye.

Nous pouvons donc regarder comme bien démontré que l'eau a une grande puissance érosive, qui reste cependant en rapport avec la vitesse ou la chute du liquide, avec son abondance et la nature des terrains. Mais on ne peut nier que les débordements périodiques des grands fleuves, comme ceux de l'Amérique, etc., n'aient une grande influence sur leur force érosive ; car alors non-seulement ils charrient des terres et des fragments

¹ Vol. V, p. 541.

² LYELL, *Principles of Geology*, p. 178.

de rochers, mais des arbres, des forêts entières et les animaux qui les habitaient. Tout le monde connaît les ravages que produit tout à coup une pluie d'orage qui ravine le sol et emporte quelquefois de grands espaces. Ce sont ces inondations accidentelles qui sont les plus terribles, surtout si elles sont accompagnées de grands coups de vent qui augmentent encore leur intensité. L'ouragan qui, en 1815, traversa toute la Jamaïque, produisit, par la masse d'eau qu'il versa en peu d'instants, une crue si subite de la rivière d'Yallahs, que les torrents qui l'alimentaient entraînèrent avec violence dans la mer tous les poissons qui s'y trouvaient, et pendant plus de dix ans on n'y rencontra aucun poisson d'eau douce.

Les eaux courantes agissent donc, comme on le voit, en dégradant la surface des terrains; mais ce qui se passe sur la terre peut avoir lieu à une certaine profondeur, et nous devons sans doute attribuer à la pression et à l'action longtemps prolongée de l'eau sur des roches calcaires, la formation de plusieurs cavernes.

Il faudrait bien se garder cependant d'attribuer à l'action mécanique de l'eau le creusement de toutes les cavernes, car il s'en faut de beaucoup qu'il en soit ainsi, mais on ne peut lui refuser une certaine part dans leur création.

Les eaux des rivières corrodent souvent les roches contre lesquelles elles s'appuient, et l'on doit attribuer à leur action non-seulement des cavités qui existent maintenant à la surface de l'eau, mais d'autres plus élevées qui ont été creusées à une époque antérieure. M. de Humboldt cite des effets de cette nature produits sur les roches qui bordent l'Orénoque :

« L'aspect géognostique de ces lieux, la
 » forme insulaire des rochers de Kerk et
 » d'Oco, les cavités que les flots ont creusées
 » dans le premier de ces cotéaux, et qui sont
 » placées précisément à la même hauteur
 » que les excavations qu'on voit dans l'île
 » d'Aivituri, située vis-à-vis; ces apparences
 » réunies prouvent que toute cette anse,
 » aujourd'hui à sec, était jadis convertie
 » par l'Orénoque. Les eaux formèrent pro-
 » bablement un lac immense, aussi long-

» temps que la digue du Nord leur résista ¹. »

On trouve des grottes creusées par les mêmes causes, dans une foule de vallées qui autrefois formaient de grands lacs. Les eaux ont agi progressivement, et ont pu déterminer une érosion plus ou moins étendue. Les cavernes creusées de cette manière sont remarquables par leur horizontalité, qui dépend non-seulement du niveau de l'eau, mais de la facilité avec laquelle certaines couches de roches peuvent se disgréger. Mais on voit quelquefois dans ces grottes des élargissements, puis des étranglements, qui sont dus évidemment à l'action toujours égale et constante de l'eau sur des roches de densité inégale, qui sur un point cédaient avec facilité, tandis qu'elles résistaient sur d'autres. Lorsque cette pression de l'eau n'a pas creusé de profondes cavernes, elle a souvent sillonné des rochers qui portent maintenant des traces bien positives d'anciennes érosions.

Des cavernes à étages, ou du moins des cavités fortement inclinées, peuvent encore devoir leur origine à la simple action mécanique de l'eau. Ainsi, quand le terrain est disposé en bassins fermés, comme dans le Jura, la Grèce, la Dalmatie, etc., c'est la forte pression du liquide, au milieu de ces bassins, qui détermine la création ou plutôt l'élargissement des cavernes. L'eau profite alors de la moindre fente, de la plus petite fracture; elle se glisse au point de jonction de deux rochers; elle déblaye et entraîne les couches d'argile les plus minces; enfin, quand elle a pu se frayer une issue et s'arrêter à un niveau plus bas, sa conquête est assurée, elle a tracé sa route. Bientôt ces canaux souterrains s'élargissent, des couches de sédiment sont entraînées en entier, et ce canal de décharge, d'abord étroit et peu étendu, s'agrandit dans toutes ses proportions, et finit par devenir une véritable caverne que l'eau ne remplit en entier que dans de rares circonstances. La vitesse du ruisseau souterrain, ses chutes plus ou moins nombreuses, sont des causes qui activent la destruction du rocher, et agrandissent insensiblement la caverne. Celle du Guacharo, dans la vallée de Caripe, dont M. Humboldt a mesuré une étendue de 2,800 pieds, pré-

¹ Humboldt, *Tableaux de la nature*, t. I, p. 256.

sente dans toute sa largeur un ruisseau, qui bien certainement l'a entièrement creusée, et qui vient sortir sous une arche de pierre. La direction de la caverne, sa pente qui augmente insensiblement à mesure que l'on s'y enfonce, prouvent suffisamment la vérité de cette supposition.

De l'action des eaux pendant le transport des matériaux.

Une fois les matériaux arrachés aux terrains sur lesquels l'eau s'écoule, les fragments sont entraînés pour être déposés plus loin.

S'ils sont très-gros, ils marchent très-vite sur une pente rapide, très-lentement sur une pente douce, où l'impulsion de l'eau est la seule cause de leur mouvement. L'inverse a lieu dans des circonstances contraires. On a calculé que l'action mécanique de l'eau ne pouvait avoir lieu si la vitesse n'était au moins de 3 pouces par seconde au point de contact du courant avec le sol. Munie de cette faible puissance, l'eau peut entamer de l'argile déposée en couches denses et épaisses, elle parvient à y creuser un sillon et à entraîner les particules détachées. Avec une vitesse de 6 pouces pour le même espace de temps, l'eau entraîne le sable fin, et le plus gros avec une vitesse de 8 pouces. A 12 pouces, elle déplace les graviers; à 24, elle peut mouvoir des cailloux arrondis d'un ponce de diamètre, et il faut une vitesse de 3 pieds par seconde pour qu'une rivière puisse entraîner des galets de la grosseur d'un œuf. Que l'on juge d'après cela de la vitesse nécessaire pour charrier ces gros blocs d'alluvions que nous rencontrons quelquefois dans le lit des anciennes vallées.

Les débordements des cours d'eau, accidentels ou périodiques, augmentent presque toujours beaucoup leur puissance érosive, et si l'eau en se chargeant d'une grande quantité de limon, se transforme en une espèce de boue liquide, alors elle peut emporter dans son cours de très-grosses masses de roches, dont la pesanteur, comparée au même volume d'eau, se trouve nécessairement diminuée par l'augmentation de densité du liquide.

Non-seulement la terre végétale et les rochers sont emportés dans les débordements, mais souvent aussi des animaux se trouvent surpris et noyés, les forêts sont arrachées, et les débris organiques sont d'autant plus facilement entraînés qu'ils surnagent le plus souvent ou n'excèdent que de très-peu la pesanteur de l'eau.

Les débris anguleux, comme le sont, en général, tous ceux qui viennent de se détacher des parois d'un cours d'eau, sont difficilement déplacés, mais ils éprouvent de continuel frottements de la part des cailloux plus petits et déjà arrondis, qui descendent avec la rivière, et ils finissent par prendre la forme ronde. Lorsqu'ils l'ont acquise, ils éprouvent encore entre eux des frottements réitérés qui en détachent des matières pulvérulentes que l'eau enlève aussitôt : c'est ainsi que les galets se polissent, s'arrondissent, et finissent même par se transformer en sable ou en gravier, au lieu de descendre directement jusque dans l'Océan.

Les galets que charrie un ruisseau sont ordinairement de même matière, parce que son cours étant peu étendu, est souvent tracé dans un terrain de même nature. Mais dans une rivière ou dans un grand fleuve, résultat d'un grand nombre d'affluents qui arrivent de localités très-différentes, on trouve des cailloux de toute espèce, et l'on suit facilement les divers degrés d'altérations qu'ils ont éprouvés. Ceux qui sont calcaires sont usés les premiers, et disparaissent entièrement au bout d'un certain trajet; les roches schisteuses, comme le gneiss, les micaschistes, s'altèrent aussi avec une grande rapidité, tandis que les quartz, les basaltes résistent et aident à la destruction de tous les autres.

Une fois les parcelles détachées, l'eau les enlève facilement, et on les voit quelquefois colorer entièrement des rivières, soit qu'elles proviennent de la destruction des galets, soit que l'eau les ait enlevées directement au terrain. Le mica surtout, qui se délite en paillettes légères, reste facilement suspendu, et voyage à de très-grandes distances.

Quand les cailloux sont durs, et qu'ils marchent sur un lit calcaire, il leur arrive quelquefois d'être arrêtés par une légère cavité. Le balancement qu'ils éprouvent facilite la

¹ *Encyclopédie britannique, article Rivières.*

disgrégation du sol qui est au-dessous d'eux. Il se forme bientôt une petite cavité dans laquelle le galet entre progressivement, il s'y enfonce tout à fait, et continue de creuser une sorte de chambre, quelquefois très-grande, proportionnellement au volume du caillou. Celui-ci, alors logé plus au large, oscille plus facilement, et fait l'effet d'un marteau qui agirait continuellement sur les parois de cette cavité. C'est surtout dans le voisinage des cascades que ces trous se forment et s'agrandissent le plus facilement. M. Humboldt en a observé de semblables au milieu de l'Orénoque; on en remarque souvent sur le lit calcaire de l'Allier, et au gour saillant près de Viehy.

Si les fragments du règne Inorganique que transportent les cours d'eau, sont assujettis eux-mêmes à des chocs ou à des frottements tellement multipliés qu'ils sont quelquefois détruits, à plus forte raison les débris organiques doivent-ils être altérés par les mêmes causes. Il est bien rare, en effet, que des arbres, et par conséquent d'autres végétaux, puissent voyager longtemps sur l'eau sans être déchirés ou complètement écorcés.

Les grands trains de bois qui descendent le Mississipi et d'autres fleuves, sont tous plus ou moins altérés par leur frottement entre eux, et par les chocs qu'ils reçoivent des rochers contre lesquels ils viennent se heurter.

Il résulte de ces différentes observations que les matériaux arrachés aux continents par les cours d'eau, tendent toujours à se diviser et à se mélanger, et qu'il faut nécessairement de grandes crues, une pente très-rapide, ou une petite distance à parcourir pour que ces matériaux arrivent, portés par les fleuves, jusque sur les bords de l'Océan, où les vagues semblent les repousser.

De l'action créatrice de l'eau ou de ses dépôts.

Nous venons de voir comment l'eau corrode les divers terrains sur lesquels elle s'épand, nous savons aussi les modifications qu'éprouvent les débris pendant leur trajet; étudions maintenant le mode d'abandon ou le dépôt de ces innombrables fragments.

L'eau de source est toujours bien transparente et ne contient aucune matière en suspension. L'eau puisée en pleine mer est aussi limpide que l'eau de source. Par conséquent, tous les phénomènes relatifs à l'érosion du sol et aux dépôts de sédiment se passent entre les sources et la pleine mer. Les dépôts peuvent se faire d'une manière différente : d'abord sous forme de longues lignes sinuées, indiquant le cours des fleuves et des rivières; ensuite sous forme d'amas plus ou moins irréguliers dans les lacs ou bassins que les cours d'eau traversent, ou sur le rivage à l'embouchure des fleuves; enfin, les débris peuvent pénétrer dans l'intérieur du sol et remplir des fentes ou des cavernes. Nous allons étudier successivement ces différentes créations de terrain de transport.

Des dépôts riverains.

A l'époque actuelle, et dans nos climats, les dépôts riverains ont très-peu d'importance; mais nous voyons former en petit ce que la nature fait plus en grand sous les climats chauds, et ce qu'elle a créé sous de bien plus grandes proportions autrefois. Les dépôts qui se forment dans le lit et sur les bords d'une même rivière, sont quelquefois différents, parce que le lit de la rivière offre des cavités que les déblais remplissent peu à peu, et que plusieurs d'entre eux ne peuvent dépasser. Si un cours d'eau est formé sans aucun étranglement de ses rives, de petits bassins que l'eau inonde et remplit, ou ne peut s'apercevoir à la surface de ces inégalités du fond, mais les cailloux qui y descendent ne peuvent en remonter, et finissent par combler ces très-petits bassins comme ils combleront de grands lacs, ainsi que nous le verrons plus loin. De fortes crues, en imprimant un mouvement rapide aux eaux, peuvent forcer quelques cailloux à franchir la digue, mais la masse principale reste dans le bassin.

Les affluents des cours d'eau déposent aussi, selon leur puissance et leur étendue, de petits deltas dans la branche principale. Ils apportent aussi les échantillons des contrées qu'ils ont traversées, et leurs dépôts varient en étendue et en épaisseur, selon la

vitesse relative des deux eaux qui viennent se confondre. Ces petits amas de débris ont quelquefois une grande influence sur la direction des cours d'eau et sur les sinuosités des rivières. On voit de ces deltas détourner de leur marche de grands courants d'eau, qui se creusent un nouveau lit à côté de l'ancien; puis une inondation arrive, le delta est emporté et la rivière reprend son ancien lit. Il se passe tous les ans une foule d'événements de ce genre dans nos petites rivières de France.

On remarque aussi sur les bords mêmes de ces rivières des dépôts analogues à ceux qui constituent les deltas. Ce sont des sables, des graviers, des cailloux roulés, qui forment plusieurs lignes parallèles, selon leur pesanteur. Les plus gros cailloux sont au bord de l'eau, les plus petits forment une zone au-dessus, les graviers les suivent, puis viennent les sables, et enfin une petite couche de limon léger recouvre cette petite bordure stratifiée. Une inondation peut la détruire et quelquefois l'augmenter, en sorte qu'il y a ainsi superposition de petites bandes de pesantier spécifique différente. Ces dépôts riverains sont souvent interrompus dans leur uniformité par les affluents qui, formant eux-mêmes des deltas et de semblables dépôts, changent de lit et viennent les raviner. Chaque affluent apporte aussi de nouveaux matériaux à ces créations d'un jour, dont les formes et l'épaisseur varient d'époque en époque.

Des substances végétales, telles que des branches d'arbres, des tiges de plantes herbacées; des graines osseuses, quelquefois des feuilles entières ou brisées, sont ensevelies sous la vase, ou maintenues par le poids des galets. Des coquilles d'eau douce, dont l'animal est mort, sont aussi rejetées sur les rives avec des coquilles terrestres que les pluies ou les affluents ont entraînés; des grains de fer oxydé, du fer titanaté, quelquefois des paillettes d'or dégagées par une longue trituration des roches qui les renfermaient, viennent encore se mélanger à ces petits dépôts qui se prolongent sous l'eau, et exhauscent peu à peu le lit des rivières qui changent de place et coulent à côté*. Ces pe-

lits dépôts de vase et de cailloux, exposés aux rayons du soleil, se dessèchent, se gercent et se fendent, et si une pluie ramène sur les mêmes lieux du nouveau limon, il pénètre dans les fentes, les remplit et fait corps avec l'ancien dépôt.

Tels sont les petits phénomènes qui se passent sur le bord de nos ruisseaux et de nos rivières; nous allons les voir grandir successivement, atteindre de gigantesques proportions, et si nous accordons à la nature le temps qui n'est rien pour elle et qui fuit si vite pour nous, nous pourrions peut-être nous rendre compte de faits très-singuliers, quoique très-naturels, pour l'explication desquels les géologues ont généralement appelé à leur aide une série de cataclysmes imaginaires.

Des dépôts lacustres.

Puisque l'eau se dépose elle-même dans les rivières de la plupart des débris qu'elle entraîne, à plus forte raison devrait-elle abandonner dans le bassin des lacs toutes les matières qu'elle tient en suspension. Les phénomènes que nous venons d'étudier se reproduiront, et les couches de dépôt, au lieu de former des lignes parallèles et étagées, donneront naissance à des couches superposées et plus ou moins inclinées. Les débris organiques s'y placeront de la même manière, y resteront enfouis, et seront par la suite autant de fossiles que les géologues futurs rechercheront avec le même intérêt que nous mettons à étudier les anciens habitants de la terre.

Les grands lacs que l'on trouve au pied de plusieurs chaînes de montagnes, et notamment dans les Alpes, arrêtent à peu près tous les débris que les torrents arrachent aux rochers. Ils s'y déposent et élèvent continuelle-

l'on est obligé de maintenir la rivière par des digues, comme on la voit dans la plaine de Nice. Quand les eaux sont basses, on rejette sur les côtes les dépôts formés dans le lit, et l'on forme ainsi deux rives artificielles qui servent à garantir les plaines. Le Pô montre un exemple bien connu de cette élévation du lit d'une rivière, car il est devenu plus haut que les maisons de la ville de Ferrare. Le même phénomène s'observe encore en Hollande, quoique sur une plus petite échelle. (De Lascaris, *Manuel de Géologie*.)

* Cet exhaussement est quelquefois si grand, que

ment le fond de ces bassins ; cependant ils ne s'étendent pas très-loin du point où ils se précipitent. Les cailloux les plus gros tombent les premiers, puis les sables, et le limon qui, selon les observations de M. de Labèche, s'avance d'une lieue ou quart dans le lac de Genève. Au reste, ces dépôts terrestres doivent s'étendre plus ou moins sur le fond du lac, selon la vitesse d'impulsion qu'ils ont reçue, la profondeur à laquelle ils descendent, et l'inclinaison du fond qui les reçoit. La pression de l'eau, à une grande profondeur, doit encore agir d'une manière sensible sur leur extension et sur leur tassement.

Les débris organiques doivent aussi se déposer bien plus régulièrement dans les lacs que sur le bord des fleuves. Les poissons qui y meurent ne sont pas entraînés par le courant, les coquillages restent au fond des eaux, et se stratifient régulièrement avec les sables et le limon ; les couches qui s'y forment ne sont pas horizontales, elles sont inclinées, quoique faiblement, sur certains points, et elles sont adossées par ordre de densité ou de pesanteur contre les parois du lac.

Tous les lacs seront remplis par la suite de ces débris arrachés aux montagnes. Le fond qui s'exhausse continuellement, la digue qui se ronge sans cesse, font sortir du lac une quantité d'eau qui serait plus grande que celle qui y pénètre, si l'évaporation qui a lieu à la surface n'enlevait aussi une certaine quantité de liquide. Il faudra sans doute des siècles pour que de tels effets soient produits sur les lacs très-profonds, comme celui de Genève ; mais déjà plusieurs autres commencent à se combler. Le lac de Nenschtätel contient déjà beaucoup de débris ; la partie supérieure du lac de Côme n'a presque plus de profondeur par l'abondance des terrains d'alluvion qu'y ont déposés la Mera et surtout l'Adda ; le lac du Bourget n'est plus qu'un faible témoin de la présence des eaux dans tout le bassin de Chambéry, encore ce dernier a-t-il plutôt baissé par l'érosion de sa digue que par l'accumulation des terrains de transport. Un grand nombre de lacs dont les contours sont parfaitement déterminés, sont maintenant transformés en plaines fertiles, dont le sol n'offre que des dépôts d'alluvion. La Bohême, la Limagne d'Auvergne, la plaine de Flo-

rences, celle d'Aurillac dans le Cantal, sont des exemples de ces bassins remplis, dont la vase desséchée et ameuillée par une grande quantité de débris, s'est transformée en campagnes fertiles et peuplées.

Des dépôts formés à l'embouchure des fleuves.

Nous venons de faire observer que les débris amenés par les rivières dans les lacs, ne s'étendaient pas sur toute la superficie du fond des lacs, lorsque ceux-ci ont une certaine étendue. La même observation s'applique avec plus de raison à la mer, dont l'immense étendue n'est pas en rapport avec les petites ouvertures des continents qui sont occupées par les fleuves. Aussi les dépôts se forment le long des côtes, et, excepté au voisinage de quelques grands cours d'eau qui, pendant leurs crues, ont une force prodigieuse, la mer est pure et transparente à quelques lieues de leur embouchure. Si, sur plusieurs points, la mer semble entamer les terres et s'y creuser des golfes, sur de plus grands espaces elle est comblée par le dépôt des fleuves qui tendent à augmenter nos continents. De puissants atterrissements ont donné naissance à de vastes contrées récemment sorties du sein des eaux. Ainsi la Hollande, que ses habitants ont émergée avant le temps fixé par la nature, est due aux dépôts du Rhin, de l'Escaut et de la Meuse. Elle est formée aux dépens des terres de la France et de l'Allemagne. Une partie du Bengale doit son origine aux alluvions du Gange, et la basse Égypte aux terres transportées par le Nil. La forme triangulaire du sol découvert par ce fleuve lui a fait donner par les Grecs le nom de *delta*, que l'on applique aujourd'hui presque indistinctement à toutes les contrées que les eaux ont nouvellement créées.

Les deltas se forment dans les méditerranées et dans l'Océan ; mais ces derniers ont à lutter contre un obstacle qui influe sur leur développement : c'est le phénomène des marées. Les autres se déposent tranquillement à l'embouchure des fleuves, et nous venons d'en citer tout à l'heure quelques exemples.

Le Delta du Nil s'accroît tous les jours d'une manière remarquable. La profondeur de la mer argente d'environ une toise par

mille; et on a calculé, en supposant que le dépôt du Nil soit le même près de la mer que dans la Thébaïde, que le Delta doit s'être accru d'environ un mille et un quart depuis le temps d'Hérodote. D'après M. Girard, le Nil a élevé la surface de la haute Égypte d'environ 6 pieds 4 pouces depuis le commencement de l'ère chrétienne. Le Delta est traversé par deux courants principaux, qui se séparent l'un de l'autre à quelques milles au-dessous du Caire; l'un descend à Rosette, l'autre à Damiette. La position actuelle de cette dernière ville, dit M. de Labèche, a donné lieu à des idées très-exagérées sur l'accroissement rapide de ce delta. On a supposé que la ville actuelle était la même que celle qui, pendant la première croisade de saint Louis, était située sur le bord de la mer; et comme aujourd'hui Damiette est à deux lieues de la mer, on en a conclu que cette distance avait été produite par les eaux du Nil dans l'espace d'environ 600 ans. Cependant il paraît aujourd'hui certain, d'après les travaux de M. Renaud, qu'après le départ de saint Louis, les émirs d'Égypte, voulant prévenir une nouvelle invasion du même côté, détruisirent l'ancienne Damiette, et fondèrent dans l'intérieur une nouvelle ville qui serait la Damiette actuelle. Par suite de l'effet des vagues et des courants, des bancs se sont amoncelés sur les deux côtes extérieurs du Delta, où ils forment des lacs, ainsi qu'on peut le voir sur la magnifique carte publiée par l'Institut d'Égypte.

Le Pô forme aussi à son embouchure un delta très-remarquable par la vitesse de son accroissement. M. de Prony, qui a étudié avec soin les atterrissements de ce fleuve, rapporte d'abord que le Pô a souvent changé de lit; ainsi, au douzième siècle, toutes les eaux du Pô coulaient au sud de Ferrare, tandis que maintenant il coule à environ une lieue au nord de cette ville.

« Il paraît bien constaté, dit M. de Prony, que le travail des hommes a beaucoup contribué à une diversion des eaux du Pô. Les historiens qui ont parlé de ce fait remarquable ne diffèrent entre eux que par quelques détails. La tendance du fleuve à suivre la nouvelle route qu'on lui avait tracée, devient de jour en jour plus énergique. Ses

deux branches du *Folano* et du *Primaro* s'appauvrissent rapidement, et furent, en moins d'un demi-siècle, réduites à peu près à l'état où elles sont aujourd'hui. Le régime du fleuve s'établissait entre l'embouchure de l'*Adige* et le point appelé aujourd'hui *Porto di Goro*; les deux canaux dont il s'était d'abord emparé étant devenus insuffisants, il s'en creusa de nouveaux, et, au commencement du xvii^e siècle, sa bouche principale, appelée *Bocco di Tramontana*, se trouvait très-rapprochée de l'embouchure de l'*Adige*. Ce voisinage alarma les Vénitiens, qui creusèrent, en 1604, le nouveau lit appelé *Taglio di Porto viro* ou *Po della fornaci*, au moyen duquel la *Bocca maestra* se trouva écartée de l'*Adige* du côté du midi. »

M. de Prony pense qu'à une époque dont la durée ne peut pas être assignée, la mer Adriatique baignait les bords d'Adria. Déjà au douzième siècle, avant que la route dont nous venons de parler n'eût été ouverte, le rivage de la mer s'était éloigné d'Adria de 9 à 10,000 mètres. L'an 1600, et par conséquent quatre ans avant le creusement du *Taglio di Porto viro*, les pointes des promontoires formées par les deux principales bouches du Pô se trouvaient à une distance moyenne de 18,500 mètres d'Adria, ce qui donne, depuis l'an 1200, une marche d'alluvion de 23 mètres par an. M. de Prony ajoute encore : « que la pointe du promontoire unique, formée par les bouches actuelles, est éloignée de 32 ou 33 mille mètres du méridien d'Adria; d'où on conclut une marche moyenne des alluvions d'environ 70 mètres par an pendant ces deux derniers siècles, marche qui, rapportée à des époques peu éloignées, se trouverait être beaucoup plus rapide. »

Nous n'insisterons pas davantage sur les deltas de la Méditerranée qui, comme on le voit, tend à se combler continuellement par le dépôt des fleuves; il ne paraît pas cependant, malgré l'absence des marées, que les débris amenés par les cours d'eau puissent s'étendre bien avant dans la mer.

Les deltas des grands fleuves qui viennent se rendre dans l'Océan, se forment quand les marées et les courants n'ont pas assez de force

pour les détruire, ce qui arrive dans plusieurs circonstances. Nous allons donner quelques exemples de ces grands atterrissements; nous les empruntons à M. Lyell, qui a publié, dans ses *Principles of Geology*, des observations si nombreuses et si remarquables sur la puissance créatrice actuelle des eaux. C'est presque une traduction littérale que nous allons reproduire¹.

Delta du Gange. — Le Gange et le Burrampooter descendent des plus hautes montagnes du monde dans un golfe qui pénètre de 225 milles (82 lieues) dans le continent. Le Burrampooter est de quelque chose le plus grand des deux fleuves; il change d'abord son nom pour celui de Megna, après avoir reçu les eaux d'une rivière plus petite ainsi appelée; puis il perd cette seconde dénomination après sa réunion au Gange, à la distance d'environ 40 milles (14 lieues) de la mer. La surface du delta du Gange, sans y comprendre celui du Burrampooter, qui lui est maintenant réuni, surpasse de beaucoup plus du double celle du delta du Nil. La distance de son origine à la mer est de 220 milles (80 lieues). La partie du Delta voisine de la mer est coupée par un labyrinthe de canaux et de criques dont les eaux sont salées, excepté dans les branches qui sont en communication immédiate avec le principal bras du Gange. Cette partie, connue sous le nom des Woods ou des Sunder-Bunds, désert infesté par les tigres et les alligators, est, suivant Rennel, égale en étendue à toute la principauté de Galles. La base de ce magnifique delta a 200 milles (72 lieues) de longueur, dans l'espace enfermé entre les deux grands bras du Gange qui l'enveloppent des deux côtés.

Sur la côte, on remarque huit grandes éclaneries; chacune d'elles, à des époques reculées, a servi successivement de lit principal au fleuve. Quoique la marée se fasse sentir jusqu'à la tête du delta lorsque les eaux sont basses, cependant lorsqu'elles sont gonflées par les pluies périodiques du tropi-

que, la rapidité du courant combat le reflux de la mer avec assez de force pour en rendre l'effet insensible, excepté dans les parties les plus voisines de l'embouchure. Ainsi, pendant la saison des crues, le Gange a presque le caractère d'une rivière qui se jette dans un lac ou dans une mer intérieure; les agitations de l'Océan sont alors dominées par la puissance du fleuve, et ne dérangent que faiblement ses opérations. Les grands accroissements du delta, en hauteur et en étendue, ont lieu pendant les inondations, et pendant les autres saisons, l'Océan fait ses reprises, creusant des canaux et enlevant quelquefois de riches alluvions.

Si grande est la masse de vase et de sable roulée dans le golfe par le Gange pendant la saison des crues, que la mer ne reprend sa transparence qu'à la distance de 60 milles (22 lieues) de la côte; la pente générale des nouveaux dépôts doit donc être très-régulière. Par des renseignements récemment publiés, il paraît qu'en s'avancant de la base du delta dans le golfe de Bengale, à une distance d'environ 100 milles (36 lieues), la profondeur croît progressivement de 4 à 60 fathoms (de 7 à 110 mètres). Sur quelques points, à cette distance, on trouve une profondeur de 70 et même de 100 fathoms (130 et 180 mètres).

Une anomalie remarquable trouble cependant la régularité générale du fond du golfe. En face du milieu du delta, à la distance de 30 ou 40 milles (de 11 à 15 lieues) de la côte, on trouve un espace presque circulaire appelé *Swatch of no Ground*, d'environ 15 milles (5 lieues et demie) de diamètre, où des sondes de 100 et même de 130 fathoms (180 ou 240 mètres) n'ont pu atteindre le fond. Ce phénomène est d'autant plus extraordinaire, que la dépression a lieu 5 milles (2 lieues) en avant de la ligne des bas-fonds; et non-seulement les eaux chargées du Gange passent continuellement sur ce point, mais encore, pendant les moussons, la mer pousse du sable et des vases dans cette direction vers le delta. Comme on sait que les vases s'étendent à 80 milles (29 lieues) plus loin dans le golfe, on peut être certain que l'accumulation des dépôts dans le *Swatch*, depuis le cours des siècles, a été d'une hauteur

¹ Je dois la traduction de ce chapitre remarquable de la *Géologie* de M. Lyell, à l'obligeance de M. de Caze, ingénieur des ports-et-chanées.

énorme; et il semble que l'on soit autorisé à conclure de la profondeur actuelle de ce point; que les inégalités primitives du golfe du Bengale étalent sur une aussi grande échelle que celle de la pleine mer.

A l'opposé de l'embouchure de l'Hoogly, et immédiatement au sud de l'île de Sager, à quatre milles du point le plus voisin du delta, il s'est formé depuis trente ans une nouvelle île, nommée l'île d'Edmonston; un phare y est établi, et sa surface est maintenant couverte de plantes et d'arbrisseaux. Mais tandis que les progrès rapides du delta en quelques points sont en évidence, l'avancement général de la côte est très-lent; car les marées, qui s'élèvent de 13 à 16 pieds (4 à 5 mètres), travaillent activement au transport des matières d'alluvion et les répandent sur une vaste surface. Une notice publiée en 1823, par le capitaine Horsberg, établissait que, sur toute la largeur du delta, les sables étaient plus avancés au sud de 4 à 5 milles (1 lieue et demie à 2 lieues) que quarante ans auparavant, et on considérait ce résultat comme la mesure des progrès du delta pendant cet espace de temps. Mais l'auteur a informé M. Lyell qu'une comparaison plus approfondie des anciens renseignements, l'a convaincu de l'extrême incorrection des latitudes indiquées, de sorte que le progrès prétendu des sables du delta serait très-exagéré. Les nouveaux dépôts sont uniquement formés de sable et de terre très-fine. Tels sont, au moins, les seuls éléments exposés à la vue dans les bancs réguliers des rives des nombreux criques du delta; aucune substance un peu lourde, comme du gravier, ne se rencontre dans aucune partie du delta, ni plus près de la mer qu'à 400 milles (145 lieues). Il faut observer cependant que les lits supérieurs d'alluvion qui se précipitent rapidement des eaux troubles durant les crues, peuvent être très-différents de ceux qui se déposent à une grande distance du rivage. Là, il se forme peut-être des précipités cristallins, par l'évaporation d'une si grande surface exposée aux rayons du soleil des tropiques; la précipitation du sable et des autres matières tenues en suspension mécanique, peut avoir lieu là même où les courants les entraînent; mais les substances minérales tenues en suspension chimique

sont naturellement emportées à de plus grandes distances, où elles servent à la formation des coraux et des coquilles, et peut-être deviennent le ciment de nouvelles roches.

On creusa un puits au Fort-William à Calcutta pour avoir de l'eau; on traversa des lits d'argile compacte jusqu'à une profondeur de 146 pieds (44 mètres). On entra alors dans un banc de sable jaune, et à la profondeur de 152 pieds (46 mètres), on retrouva l'argile.

Formation et destruction d'îles. — La quantité immense des matières solides transportées par le Gange et le Megna est démontrée par l'étendue des îles formées dans leurs bras, pendant la courte période de la vie d'un homme. Quelques-unes d'entre elles, de plusieurs milles d'étendue, ont eu pour origine de larges bancs de sable déposés aux environs d'un tournant du fleuve, et isolés ensuite par une irruption des eaux. D'autres, formées dans le canal même, ont eu pour cause quelque obstacle au fond. Un grand arbre ou un bateau échoué sont quelquefois suffisants pour briser le courant et amener un dépôt de sable qui s'amasse ensuite jusqu'à usurper une portion considérable du lit du fleuve. Le courant attaque alors chaque rive pour suppléer au rétrécissement de son lit, et à chaque crue de nouveaux dépôts viennent élever le niveau de l'île. Dans le grand golfe, au-dessous de Luckipour, formé par les eaux réunies du Gange et du Burramposter ou Megna, quelques-unes de ces îles, suivant Rennel, rivalisent en beauté et en fertilité avec l'île de Wight. Tandis que le fleuve forme des îles nouvelles d'un côté, d'un autre côté il en détruit d'anciennes. Les îles nouvelles sont ordinairement couvertes de roseaux, de longues herbes, de tamarix indica et d'autres arbrisseaux, formant d'impénétrables halliers où les tigres, les buffles, les daims et autres animaux sauvages trouvent un asile. Il est donc facile de concevoir que des restes d'animaux et de végétaux soient sans cesse emportés par les eaux, et soient quelquefois enveloppés par les dépôts du delta.

Deux sortes de crocodiles, de genres distincts, abondent dans le Gange et ses affluents. M. R. H. Colebroke a dit à M. Lyell avoir rencontré les deux espèces dans l'intérieur

des terres, à plusieurs centaines de milles de la mer. Le crocodile du Gange ou gavia, et plus correctement garial, ne sort pas de l'eau douce ; mais le crocodile commun se trouve dans l'eau douce et l'eau salée. Dans les eaux saumâtres ou salées, il acquiert beaucoup plus de grandeur et de férocité. Ces animaux fourmillent dans l'eau saumâtre, le long des bords desable où les progrès du delta sont les plus rapides. On en voit des centaines dans les criques du Delta, ou se chauffant au soleil sur les bas-fonds. Ils attaquent les hommes et les animaux, enlevant les naturels lorsqu'ils se baignent, et les animaux privés ou sauvages lorsqu'ils viennent boire. J'ai été souvent témoin, dit M. Colebrooke, de l'horrible spectacle des cadavres flottants, saisis par un crocodile avec tant d'avidité qu'il sortait à moitié de l'eau avec sa proie dans la gueule. Le géologue ne manquera pas d'observer combien les habitudes et le séjour de ces sauriens les expose à être enveloppés dans ces dépôts horizontaux de terre fine qui sont annuellement déposés sur plusieurs milles carrés de la baie du Bengale. Lorsque les animaux terrestres sont entraînés par les eaux, ils sont habituellement dévorés par ces reptiles voraces, mais nous pouvons supposer que les restes des sauriens eux-mêmes sont enveloppés dans les nouvelles formations.

Inondations. — Il arrive quelquefois, dans la saison des hautes crues, que le concours d'un vent violent et d'une haute marée arrête le courant descendant de la rivière et donne lieu aux inondations les plus destructrices. Par un effet de ce genre, en 1763, les eaux s'élevèrent à Luckipour de six pieds (1,80 mètres) au-dessus de leur niveau ordinaire, et les habitants d'un district considérable avec leurs maisons et leurs bestiaux furent entièrement emportés par les eaux.

La population des deltas de l'Océan est particulièrement exposée à de telles catastrophes revenant à de longs intervalles, et l'on peut assurer que des événements tragiques de ce genre se sont plusieurs fois répétés depuis que le delta du Gange est habité par l'homme. Si l'expérience et la prévoyance des hommes ne peut toujours les garantir contre de semblables malheurs, encore moins

les animaux peuvent-ils les éviter ; et les monuments de ces inondations désastreuses doivent se trouver en abondance dans les dépôts de tous les âges, si la surface de notre planète a été toujours soumise aux mêmes lois. Quand nous réfléchissons à l'ordre général et à la tranquillité qui règnent dans le riche et peuplé delta du Gange, malgré les ravages continuels de l'Océan, nous reconnaissons combien il est inutile d'attribuer le dépôt des races successives d'animaux dans les formations anciennes à des causes extraordinaires de décadence et de reproduction dans l'enfance de notre globe, ou à ces catastrophes générales et ces révolutions soudaines alléguées par les cosmogonistes.

Delta du Mississipi. — Les marées du golfe du Mexique sont si faibles que le delta du Mississipi a comme un caractère intermédiaire entre les deltas de l'Océan et ceux des méditerranées. Une longue et étroite bande de terre s'est formée, offrant simplement, de chaque côté, le talus des rives du fleuve qui l'entoure, et offrant précisément l'apparence de ces crêtes continues, dont le sommet s'élève au-dessus des eaux dans l'inondation d'une plaine. Cette langue de terre s'est avancée de plusieurs lieues depuis la construction de la Nouvelle-Orléans. De grands dépôts souterrains vont aussi en augmentant sur une grande étendue du fond de la mer, qui, dans un rayon considérable, est devenue très-basse, n'ayant pas plus de dix fathoms (18 mètres) de profondeur. En face de l'embouchure du Mississipi, de larges radeaux d'arbres flottants, entraînés chaque printemps, sont entrelacés sur plusieurs yards (yard = 0,91 mètres) de hauteur, et couvrent des centaines de lieues carrées ; ils sont ensuite couverts d'un lit de vase sur lequel, l'année suivante, se déposent de nouveaux arbres, de manière à former de nombreuses alternances de matières minérales et végétales.

Succession des dépôts. — Une observation de Darby à l'égard des dépôts qui composent une partie de ce delta, mérite l'attention. Sur les rives escarpées de l'Atcha-Falaga, bras du Mississipi, auquel se rapporte ce que nous avons dit sur les radeaux naturels, on aper-

çoit la coupe suivante dans les basses eaux : d'abord, un dépôt supérieur consistant invariablement en une argile bleuâtre commune aux rives du Mississipi ; au-dessous, un banc de terre rouge ocreuse, particulière à la rivière Rouge, et sous laquelle reparait de nouveau l'argile blême du Mississipi. La constance de cette disposition prouve, comme ce géographe le remarque, que les eaux du Mississipi et de la rivière Rouge ont autrefois successivement occupé des espaces considérables au-dessous du point actuel de leur réunion. De pareilles alternances sont probablement communes dans les espaces sous-marins situés entre deux deltas qui convergent ; car avant la réunion des deux fleuves, il doit presque toujours y avoir une certaine période de temps où l'espace qui les sépare est alternativement couvert et abandonné par les eaux de chacun d'eux, la saison des plus hautes eaux de l'un devant rarement correspondre précisément à la même saison de l'autre. Dans le cas, par exemple, de la rivière Rouge et du Mississipi, dont les eaux viennent de pays situés sous des latitudes très-différentes, une coïncidence exacte, dans le temps des plus grandes inondations, est tout à fait improbable.

Conclusions sur les deltas. Volume des sédiments apportés par les rivières. — On n'a encore fait qu'un petit nombre d'expériences satisfaisantes pour déterminer, avec quelque exactitude, la quantité de matières solides portées annuellement à la mer par quelques-unes des principales rivières du globe. Hartsock a trouvé que le Rhin, dans ses crues les plus fortes, tenait en suspension une partie sur cent de matière solide, en volume. D'après quelques observations de sir Georges Haughton, il paraît que l'eau de la rivière Jaune, à la Chine, contient un dixième de matières solides ; et il a calculé qu'elle en transportait par heure deux millions de pieds cubes ou quarante-huit millions par jour, de sorte que si la mer Jaune n'avait que cent vingt pieds de profondeur, il ne faudrait que soixante jours au fleuve pour convertir un mille carré anglais en terre ferme, et vingt-quatre mille ans pour transformer toute cette mer en terre ferme, en admettant cent vingt-cinq milles carrés pour sa surface. Manfredi ; célèbre hy-

drographe italien, portait à $\frac{1}{1,25}$ le volume des matières solides portées à la mer par les eaux de tout le globe, et il estimait à mille ans le temps nécessaire pour que ces dépôts élevassent d'un pied le niveau général de la mer. Quelques écrivains, au contraire, comme de Maillet, ont prétendu que les eaux les plus troubles contenaient une proportion de matières solides bien moindre que les estimations précédentes ne le supposaient. Il existe de telles contradictions et de telles incompatibilités dans les faits et les théories jusqu'ici publiées, qu'il faut attendre de nouvelles expériences pour se former une opinion à ce sujet.

Calcul de Rennef sur les sédiments transportés par le Gange. — Un des résultats les plus extraordinaires est fourni par le major Rennef, dans son excellente notice, que nous avons déjà citée, sur le delta du Gange. « Un verre d'eau, dit-il, puisé dans le fleuve pendant ses crues, contient presque un quart de matières solides. Qu'on ne s'étonne donc plus des dépôts rapides des eaux ou des progrès du delta sur la mer. » Le même hydrographe a calculé avec beaucoup de soin le cube des eaux versées à la mer par le Gange, et il l'a évalué, pour toute l'année, à 180,000 pieds cubes (5,040 mètres cubes) par seconde. Lorsque les eaux sont très-hautes, et la vitesse du courant la plus forte, le produit est de 405,000 pieds cubes (11,490 mètres cubes) par seconde. D'autres écrivains, ayant égard à la violence des pluies des tropiques, et à la finesse des dépôts d'alluvions des plaines du Bengale, expliquent comment les eaux du Gange se trouvent chargées de matières solides, dans une proportion que ne peuvent atteindre les plus grands fleuves de l'Europe dans leurs plus fortes crues.

Nous avons déjà parlé de la destruction de vastes îles par le Gange ; le major R. H. Colbroke, dans son voyage du Gange, rapporte des exemples du rapide encombrement de quelques-uns des bras du fleuve, et de la formation de nouvelles branches, où la surface du sol, ainsi remuée en peu de temps, sur une hauteur de cent quatorze pieds (35 mètres), est vraiment étonnante. Quarante milles carrés, ou 2,600 acres 1,050 hectares su-

rent emportés, dans une seule localité, dans le cours d'un petit nombre d'années. Quoique nous puissions facilement admettre que la quantité des matières solides transportées par les eaux du Gange surpasse la proportion offerte par un fleuve quelconque du nord, nous sommes cependant arrêtés par les résultats auxquels nous arriverions en comparant la proportion assignée par Rennel au volume d'eau dépensé, lequel est probablement très-exact. S'il était vrai que le Gange, dans la saison des crues, contint un quart de matières solides, il faudrait admettre que ce fleuve, en quatre jours, transporte une masse solide égale au volume d'eau qu'il verse en vingt-quatre heures. Si nous prenons pour pesantier spécifique des matières transportées, la moitié de celle du granite (résultat inférieur aux faits), le poids de la masse journallement transportée serait environ égal à soixante-quatorze fois celui de la grande pyramide d'Égypte. Et en admettant seulement que les eaux du Gange ne contiennent qu'un centième de matières solides, ce qui est possible, et ce que l'on assure être la proportion pour les eaux du Rhin, nous arriverions encore à cette conclusion extraordinaire, qu'il arrive chaque jour dans la baie du Bengale une masse supérieure en poids et en volume à la grande pyramide.

Suivant Rennel, le Gange verse, dans la saison des crues, 405,000 pieds cubes (11,490 mètres cubes) par seconde, ce qui donne en nombre rond 100,000 pieds cubes (2,870 mètres cubes) par 1" de matières solides, et multipliant par 86,400", durée d'un jour, 8,640,000,000 pieds cubes (247,968,000 mètres cubes) par jour. En supposant la densité de ces matières moitié de celle du granite, leur poids équivaldra à celui de 4,320,000,000 pieds cubes (123,984,000 mètres cubes) de granite. Maintenant, douze pieds cubes et demi de granite pèsent environ une tonne, et l'on a calculé que la grande pyramide, si elle était une masse solide de granite, pèserait 6,000,000 de tonnes. (La tonne angl. = 1,015 kil.) Le courant de lave le plus considérable qui soit sorti de l'Etna, depuis les temps historiques, est celui de 1669. Ferrara calcula que la masse de ce courant s'élevait à cent quarante

millions de yards cubes; 106,004,000 mètres cubes; et cependant cette masse n'offrirait pas un quinzième de l'épaisseur des sédiments charriés par le Gange en une seule année, en supposant que ceux-ci ne soient que le centième des eaux du fleuve. Ainsi, en supposant quinze grandes éruptions par siècle, il faudrait cent Etnas pour rejeter à la surface de la terre une masse de lave égale en volume aux sédiments qui, pendant le même temps, descendraient de l'Himalaya dans la baie du Bengale.

D'après le calcul de Ferrara, il sortit de l'Etna, en 1669, environ 140,000,000 de yards cubes, ou, en multipliant par 27, 3,780,000 de pieds cubes. Or, le Gange, en supposant qu'il contienne un centième de matières solides, sur un produit de 180,000 pieds cubes par 1", contiendra 1,800 pieds cubes de sédiments, qui, multipliés par 31,557,000, nombre de secondes d'une année, donnent pour le produit annuel 56,803,680,000 pieds cubes environ, quinze fois la masse de la lave de l'Etna.

On a fait un grand travail pour évaluer la masse des laves de Sicile, de Campanie et d'Auvergne; il est extraordinaire qu'un travail analogue n'ait pas été fait pour les matières transportées par les eaux. Il ne serait pas difficile d'avoir le chiffre approché des sédiments charriés par quelques-uns des grands fleuves, tels que les Amazones, le Mississipi, le Gange et autres, parce que la ténuité des matières transportées aux deltas les fait tenir à peu près uniformément dans les eaux, et que l'époque principale des transports est à peu près limitée à la saison des crues. On a lutté en vain pendant un demi-siècle, contre l'opinion que l'action des eaux courantes, à l'époque actuelle, continuée même indéfiniment, serait tout à fait incapable de produire de notables inégalités à la surface de la terre. Que l'on recueille des faits, nous pouvons assurer avec confiance, dit toujours M. Lyell, que le calcul de la masse transportée par les eaux, pendant un nombre donné de siècles, pour un vaste continent, donnera un résultat étonnant pour ceux qui ne se sont pas habitués à l'idée que la nature opère insensiblement ses effets les plus puissants sans bruit et sans désordre :

le volume des matières charriées à la mer une fois calculé, quelques géologues pourront admettre que, sauf quelques exceptions, la totalité de ces matières provient des vallées et non des sommets des montagnes; en d'autres termes, que les anciennes vallées ont été creusées, et que les nouvelles se creusent en proportion de l'espace occupé par les nouveaux dépôts, lorsqu'ils sont consolidés.

Les changements survenus dans les deltas, même depuis les temps historiques, peuvent suggérer d'importantes remarques sur le mode de distribution des dépôts sous les eaux. Malgré les fréquentes exceptions résultant de l'interruption ou de la variété des causes, il y a quelques lois générales d'arrangement qui doivent se développer dans presque tous les lacs ou mers qui se combient. Si, par exemple, un lac est entouré de deux côtés de montagnes qui lui versent leurs eaux, et s'il est borné du troisième, par où l'excès des eaux s'écoule par un pays comparativement bas, il n'est pas difficile de définir quelques-uns des accidents géologiques qui caractériseront la formation lacustre; lorsque le lac, par les dépôts des eaux, aura été converti en terre ferme, les dépôts se partageront en deux groupes; les plus anciens comprenant les dépôts prenant naissance à la partie voisine des montagnes, où de nombreux deltas se formèrent d'abord, et les plus nouveaux consistant en couches déposées dans la partie la plus centrale du bassin, dans la partie la plus éloignée des montagnes. Les caractères suivants distingueront les dépôts de chaque série.

Les plus anciens seront formés, pour la plupart, de matériaux volumineux, de bancs de sable et de cailloux souvent fort épais, et quelquefois inclinés sous un angle considérable. Pour ces dépôts, ainsi que pour ceux de matières plus légères du même ordre, on trouverait, si l'on faisait le tour du bassin, qu'ils varient beaucoup en couleur, en composition minéralogique, et en épaisseur; les dépôts plus modernes, au contraire, consisteront en matières très-fines, horizontales, peu inclinées; ils seront de couleur et de composition un peu homogène sur une grande étendue, et différeront de presque tous les dépôts anciens. Nous avons déjà examiné les causes de

cette distribution, en parlant de ces sortes de dépôts.

Lorsqu'il y a plusieurs deltas indépendants, leurs dépôts isolés diffèrent entièrement les uns des autres. Nous pouvons supposer un des courants chargé, comme l'Arre lorsqu'il s'unit au Rhône, de sable blanc provenant principalement de la décomposition du granite; un autre noirci, comme beaucoup de courants d'eau du Tyrol, par des débris d'ardoises noires; un troisième coloré par un dépôt ocreux, comme la rivière Rouge en Louisiane; et un quatrième comme l'Elsa en Toscane, tenant en dissolution beaucoup de carbonate de chaux. Chacun de ces cours d'eau ferait d'abord des dépôts distincts de ces matériaux grossiers; mais après leur union, il résulterait de nouvelles combinaisons et de nouvelles couleurs, et les dépôts transportés à dix ou vingt milles plus loin seraient formés de matières plus fines.

Dans les deltas où les causes sont plus compliquées, où il intervient des marées et des courants, la même théorie, modifiée, est toujours vraie; mais si, comme dans la région où l'Indus se jette dans la mer, des tremblements de terre accompagnent la formation du delta et changent le niveau du sol, alors les phénomènes s'écartent beaucoup du type ordinaire.

M. Lyell passe ensuite à d'importantes considérations sur la convergence et la réunion des deltas. Si nous possédions, dit-il, une série de cartes exactes de la mer Adriatique remontant à quelques milliers d'années, nous remonterions sans doute à une époque où le nombre des rivières se rendant directement à la mer par des deltas séparés, était beaucoup plus grand. Les deltas du Pô et de l'Adige, par exemple, seraient encore séparés après l'apparition de l'homme, et très-probablement aussi ceux de l'Isonzo et du Torre. Si, d'un autre côté, nous anticipons sur l'avenir, nous préviendrons l'époque où le nombre des deltas aura considérablement diminué; car le Pô ne peut continuer à accroître son delta d'un mille par siècle, et les autres rivières d'autant en cinq ou six siècles, sans que de nouvelles réunions n'aient lieu, de sorte que l'Éridan, le roi des fleuves, verra continuellement s'accroître le nombre de ses tribu-

taîrés. Le Gange et le Burrampooter se sont probablement réunis depuis les temps historiques, et, selon toute apparence, on connaîtrait l'époque de la réunion du Mississipi et de la rivière Rouge, si la découverte de l'Amérique était plus ancienne. L'union du Tigre et de l'Euphrate a été sans doute un des phénomènes modernes du globe, et de semblables remarques s'étendraient à beaucoup de pays.

Formation des conglomérats. — Le long de la base des Alpes maritimes, entre Toulon et Gênes, les rivières, à peu d'exceptions près, forment maintenant des dépôts de conglomérats et de sables. Leurs lits ont souvent plusieurs milles de largeur, la plus grande partie est à sec, et le reste guéable pendant près de huit mois de l'année. Mais pendant la fonte des neiges elles se gonflent, et il se fait un grand transport de terre et de cailloux. Pour tenir ouverte la grande route de France en Italie, le long de la côte, il faut enlever tous les ans ce que les eaux y apportent pendant la saison des crues.

Dans quelques localités, comme auprès de Nice, les cailloux forment des bancs près du rivage, mais la plus grande partie est emportée à la mer. On ne s'étonnera pas du peu de progrès que font les deltas sur cette côte, en songeant que la mer présente quelquefois une profondeur de deux mille pieds (610 mètres), à quelques centaines de yards (le yard vaut 0^m 91) du rivage, comme auprès de Nice. On peut faire des observations analogues sur une grande échelle, sur les rivières de la Sicile, et, entre autres, sur celle qui, immédiatement au nord du pont de Messine, porte annuellement à la mer d'énormes masses de cailloux granitiques.

Lorsque les deltas de rivières ayant plusieurs embouchures se rencontrent, une réunion partielle a d'abord lieu par une ou plusieurs de leurs branches; mais ce n'est qu'après la réunion des bras principaux au-dessus de l'origine du delta commun, qu'il y a un mélange complet de leurs eaux et de leurs dépôts. Ainsi l'union du Gange et du Burrampooter, du Pô et de l'Adige, est encore incomplète. Si nous songeons à l'étendue de la surface parcourue par des fleuves, tels que ceux du Bengale, et au mélange parfait de la

plus grande partie des matières qu'ils transportent, à la grandeur du delta coupé par leurs bras nombreux, nous nous étonnerons moins de l'étendue de quelques anciennes formations de nature minérale homogène; mais notre surprise sera encore diminuée, lorsque nous songerons à l'effet des marées et des courants pour disséminer les matières accumulées dans les divers deltas.

Stratification des deltas. — On sait parfaitement que les matières charriées par les rivières dans les mers ou les lacs ne s'y déposent pas en masse confuse, mais s'étendent au loin sur le fond. Leur division en bandes distinctes peut être conclue par induction dans les cas où l'observation manque.

La disposition horizontale des dépôts observés quand on creuse à la profondeur de vingt ou trente pieds dans les deltas du Gange ou du Mississipi, a été citée par plusieurs écrivains, et l'on sait que la même disposition s'observe dans tous les dépôts modernes des lacs et des golfes. L'intervalle de temps qui sépare, chaque année, les dépôts pendant la saison des pluies ou la fonte des neiges, établit souvent des divisions naturelles; le dépôt de chaque année acquiert quelque solidité avant la superposition de celui de l'année suivante. Des circonstances diverses font aussi changer chaque année la couleur, la finesse et les autres caractères des matières déposées. Des causes nombreuses donnent lieu à des alternances des dépôts distincts en texture, en composition minéralogique et en débris organiques. Ainsi, par exemple, à une époque de l'année, des bois peuvent être transportés; à une autre époque, seulement des vases, comme dans le cas du Mississipi; ou bien, à une époque, lorsque le volume et la rapidité des eaux sont au plus haut point, des cailloux et du sable sont transportés, et couvrent une surface sur laquelle se déposent, lorsque les eaux sont basses, des matières plus fines ou des précipités chimiques. Pendant les crues, le courant d'eau douce repousse souvent la mer à plusieurs milles, et quand les eaux sont basses, la mer recouvre le même espace. Quand deux deltas convergent, l'espace intermédiaire est souvent, par les raisons déjà expo-

sées, alternativement le réceptacle des dépôts des deux fleuves. L'un peut être chargé de parties calcaires, l'autre de matières argileuses; l'un transporte du sable et des cailloux, l'autre une vase impalpable. Ces différences peuvent se répéter avec beaucoup de régularité, de manière à accumuler des bancs alternants sur des centaines de pieds de hauteur. L'examen des dépôts de la marne coquillière, qui se forment aujourd'hui dans les lacs d'Écosse, et

les sédiments appelés *varp*, qui se forment par les eaux de l'Innher et autres rivières, montre que les dépôts récents sont souvent formés d'un grand nombre de lits très-minces, plans ou légèrement ondulés et parallèles à la surface de stratification. Quelquefois, cependant, les couches des dépôts modernes sont disposées sous un angle très-notable, ce qui paraît avoir lieu dans les points où il y a des mouvements contraires dans les eaux.

CHAPITRE DIXIÈME.

DES DÉPÔTS FORMÉS DANS L'INTÉRIEUR DU SOL.

Puisqu'il existe des cours d'eau souterrains, il doit nécessairement se former des dépôts qui occupent aussi des cavités, et on doit le concevoir d'autant plus facilement, que les eaux peuvent non-seulement ronger les parois des cavernes dans lesquelles elles pénètrent, mais qu'elles doivent aussi y conduire une partie des matériaux qu'elles charrient et qu'elles ont arrachés à la surface.

Le dépôt des cavernes est encore facilité par leur structure intérieure. Il est rare que leur sol soit parfaitement plan, il est souvent formé de plusieurs chambres à niveau inégal, dont le fond forme autant de bassins séparés, dans lesquels viennent se déposer tous les corps pesants qui sont amenés par l'eau. On a même beaucoup d'exemples de cours d'eau souterrains, dans lesquels on a jeté en abondance des corps très-légers, comme des fragments de bois, de la paille d'avoine et même des êtres vivants, tels que des canards, et qui n'ont jamais laissé échapper la moindre chose à l'issue de la caverna dans laquelle ils s'engouffraient. On sait, d'ailleurs, que des eaux troubles, qui entrent ainsi sous terre pour y parcourir un certain trajet, en ressortent ensuite pures et limpides; et tous ces faits nous prouvent qu'il doit se former dans le fond de

ces grottes des dépôts composés de toutes les matières qui y pénètrent.

Il y a cependant des cavernes dans lesquelles on n'a observé jusqu'ici aucune trace de sédiment; mais ce sont celles qui sont situées dans une position telle qu'à aucune époque les eaux n'ont pu les traverser.

La plupart des cavités souterraines présentent à leur surface inférieure un limon rougeâtre, quelquefois très-abondant, dans lequel on remarque assez souvent des cailloux roulés, de nature et de volume différents, des fragments anguleux de la roche dans laquelle la caverne elle-même est creusée, et enfin des ossements et des restes fossiles d'animaux très-divers et très-nombreux.

Ce dernier caractère a puissamment excité l'intérêt des géologues. Ils ont étudié avec le plus grand soin ces vieilles catacombes dans lesquelles ils ont souvent trouvé les restes d'animaux dont les générations sont éteintes.

Au-dessus de ces dépôts ossifères, on voit généralement des masses calcaires concrétionnées, que nous décrirons plus loin sous le nom de stalactites. Elles recouvrent les sédiments et ferment même quelquefois entièrement l'entrée des cavernes, en sorte

qu'il faut d'abord les briser pour parvenir aux ossements. (Fig. XI.)

Le limon est inégalement distribué sur le fond. Quelquefois il s'élève un peu contre les parois, et remplit, dans certaines circonstances, plus de la moitié de la cavité. Ces cavernes, comme celles qui ne contiennent aucun ossement et aucun dépôt, sont plus ou moins étendues et plus ou moins hautes. Celle de *Kirkdale*, une des plus célèbres, et qui a été étudiée d'une manière toute spéciale par M. Buckland, a 243 pieds de longueur, mais elle est si basse, qu'il n'y a que deux ou trois endroits où un homme puisse se tenir debout. « Lorsque la grotte a été ouverte pour la première fois, dit M. Buckland, la surface du dépôt de sédiment était presque unie et horizontale, excepté dans les endroits où sa régularité avait été altérée par l'accumulation de stalagmites ou par la chute de gouttes d'eau de la voûte. Ce sédiment se compose d'un limon argileux micacé, formé de particules tellement ténues, qu'on pourrait facilement les mettre en suspension dans l'eau. Ce limon est mêlé de beaucoup de matière calcaire qui paraît provenir, en partie, de l'eau tombant de la voûte, et en partie, des os fracturés. A environ 100 pieds de l'entrée de la caverne, le dépôt de sédiment devient plus grossier et plus sableux ».

On connaît en Allemagne plusieurs de ces cavernes, telles que celle de Gailenreuth, de Kùloch, de Baumann, qui contiennent une grande quantité d'ossements fossiles. C'est dans ces grottes que l'on a trouvé une certaine quantité de cailloux roulés, mêlés avec divers débris.

MM. Tournal, Marcel de Serres et J. de Christol ont découvert aussi plusieurs cavernes à ossements, dans le midi de la France, et ont publié des travaux très-intéressants sur cet objet. Ces grottes offrent d'autant plus d'intérêt, que les géologues y ont trouvé des morceaux de poterie et des ossements humains mélangés avec des débris d'espèces perdues. Celle de Lunel-Vieil a offert à M. Marcel de Serres un grand nombre de débris d'insectes, provenant des excréments fossiles de divers animaux.

« Il semble donc, d'après ces faits, que les débris des animaux entassés dans les cavernes de Lunel-Vieil, y ont été entraînés par les eaux, et qu'ils étaient déjà réduits, avant leur transport, à l'état d'ossements isolés. Cependant il est un fait qui, au premier aperçu, paraît contraire à cette conclusion; c'est la présence des débris d'insectes que j'ai observée sur le sol de la grande caverne, débris dont je ne savais pas trop démêler l'origine avant que M. de Christol y eût découvert un excrément qui en était en grande partie composé, ainsi que des vertèbres de poissons de petite taille. Autant que l'on peut en juger, ces débris d'insectes ont appartenu, soit à des cagnassiers, soit à des herbivores, et probablement à des carabes, des géotrupes, des chrysonélles, des trichies, et peut-être des étoïnes. Tous ces insectes conservent leur couleur et leur nature, et s'ils ont été dévorés par les animaux qui gisent dans la grande caverne, il faut nécessairement qu'ils soient de la même date que les premiers. Nous aurions donc là un exemple d'insectes fossiles conservant encore leur propre substance, comme ceux qui sont eucreotés par le succin ».

M. Thirria a décrit aussi plusieurs cavernes à ossements, situées dans le département de la Haute-Saône. Celle d'Echenez, près du village de ce nom, au sud de Vesoul, présente plusieurs chambres très-inégales, quoique le sol soit à peu près de niveau. Celle que l'on désigne sous le nom de *Grand-Clocher*, s'élève presque jusqu'au sommet du plateau, dont la partie solide n'a dans cet endroit qu'une faible épaisseur. M. Thirria fit fouiller le sol de la caverne en plusieurs endroits, et trouva partout un grand nombre d'ossements, surtout dans la quatrième chambre. « La profondeur à laquelle ces débris se présentaient, variait de 10 centimètres à 1 mètre. On les rencontrait au milieu d'une argile rouge, entremêlés d'un grand nombre de cailloux arrondis, à surface lisse, et dont la grosseur atteignait souvent celle de la tête d'un homme. Ces fragments étaient tous composés d'un calcaire lamellaire, grisâtre, semblable à celui

* Buckland, *Reliquiæ diluviana*.

* MARCEL DE SERRES, Lettre à M. Gay-Lussac, *Annales de chimie et de physique*, t. XXX, p. 220.

dont sont formées les parois de la grotte et beaucoup de roches des environs. Indépendamment de ces cailloux, on rencontre dans l'argile ossifère, des morceaux de stalactites et de stalagmites dont les aspérités sont usées, ce qui montre qu'ils ont été déplacés. Le dépôt d'argile, dont l'épaisseur ne paraît pas excéder 1 mètre 50 centimètres, est recouvert presque partout par une croûte de stalagmite, épaisse de quelques centimètres, qui présente une surface mamelonnée; au-dessus se trouve une couche de 10 à 25 centimètres d'épaisseur, composée d'une argile plus onctueuse, mais par suite moins rouge que celle qui est en dessous, et qui est fréquemment noircie par l'effet de la décomposition des végétaux dont elle contient encore quelques débris. On ne trouve pas de cailloux arrondis au-dessus de la croûte de stalagmites, et on n'en voit à la surface, que là où la stalagmite n'existe pas. D'après cela, il paraît évident que les cailloux arrondis que renferme l'argile ossifère, ont été transportés par les eaux et déposés dans la grotte avant la formation de la croûte calcaire, produite par les gouttes d'eau chargée de carbonate de chaux, qui ont suinté de la voûte, et conséquemment avant le dépôt de la couche d'argile, dont cette croûte est reconverte ¹.

Quelquefois les marnes et le limon forment plusieurs couches très-distinctes et séparées par des dépôts de stalagmites, comme cela a lieu dans la caverne de Chockier, près Liège, sur le bord de la Meuse. Cette grotte est presque entièrement remplie par ces différents dépôts.

On connaît maintenant de semblables dépôts dans presque toutes les contrées où il existe des cavernes; on en a même découvert dans la Nouvelle-Hollande.

Ces mêmes débris que l'on rencontre dans les cavernes, se retrouvent aussi dans des fentes de rochers, qui ont été remplies de la même manière, et qui contiennent aussi une matière calcaire qui a formé une sorte de brèche de tous ces débris. On désigne ces dépôts sous le nom de *brèches osseuses*. Il est vrai que ces brèches sont souvent déposées aussi

dans des cavernes, comme celle de Cagliari en Sardaigne; il paraîtrait même que celles de Nice étaient primitivement contenues dans une grotte qui a été ouverte pour l'extraction de pierres de construction.

On trouve un grand nombre de ces brèches sur les bords de la Méditerranée. On en connaît à Cette, à Antibes, à Gibraltar, en Sicile, en Corse, etc. Ce sont de véritables fentes remplies.

Les animaux dont les débris se trouvent ainsi enterrés dans les cavernes, appartiennent à un grand nombre d'espèces. Voici la liste de ceux qui ont été trouvés dans les cavernes du midi de la France :

Tableau des animaux trouvés dans les cavernes du midi de la France.

Éléphant.	Cheval.
Rhinocéros.	Bœuf, deux espèces.
Sanglier.	Cerf, cinq espèces.
Antilope d'une très-grande taille.	Loop.
Chamois.	Renard.
Chèvre.	Putois (Christol).
Monton.	Fonine (Christol).
Ours, espèces au moins.	Lièvre.
Blairon.	Lapin.
Tigre.	Lagomis.
Lion.	Campagnol.
Léopard.	Plusieurs espèces d'oiseaux.
Lynx.	Tortue terrestre.
Hyène fossile.	Lézard (<i>Lacerta ocellata</i>).
Hyène rayée (Christol).	Contenue de la taille de la <i>Coluber natrix</i> ¹ .
Hyène brune (Christol).	
Chien, deux espèces.	

Il faut remarquer qu'avec ces ossements se trouvaient ceux de l'homme dont on a cru reconnaître plusieurs variétés; il y avait aussi des débris de poterie.

Indépendamment de plusieurs des espèces mentionnées dans ce tableau, M. Buckland a trouvé dans la caverne de Kirkdale, l'*hippopotame*, la *belette*, le *rat d'eau*, la *souris*, le *corbeau*, le *pigeon*, l'*alouette*, une *petite espèce de canard* et un *oiseau de la grosseur d'une grive*: le *glouton* a été trouvé dans les grottes de l'Allemagne.

Selon M. Pentland, les os de la brèche

¹ THIERIA, *Mém. de la Société d'hist. nat. de Strasbourg*, t. 1.

¹ JOURNAL, *Annales de chimie et de physique*, février 1835, p. 180.

d'Australie, apportés à Paris, examinés par Cuvier et par lui-même, appartiennent à huit espèces d'animaux qui se rapportent aux genres suivants: *Dasyurus* ou *thylacinus*; *hypsiprymnus* ou *kangaroo-rat*, une espèce; *phascolomys*, une espèce; *kangaroo*, deux ou trois espèces; *halmaturus*, deux espèces; et *éléphant*, une espèce. D'autres ossements trouvés dans une espèce de caverne, de la même contrée, ont offert des débris des genres *wombat*, *koala* et *phalangista*. Parmi ces différents animaux, quatre seulement sont inconnus aux naturalistes; ce sont deux espèces d'*halmaturus*; une espèce de *hypsiprymnus* et l'*éléphant*. Il faut encore ajouter qu'une autre collection de la vallée de Wellington contient les débris d'une espèce de *kangaroo*, dont la grandeur surpasse d'un tiers celle des plus grandes espèces de ce genre que l'on connaisse aujourd'hui¹. Toutes les autres espèces sont actuellement vivantes dans la Nouvelle-Hollande. Il arrive donc pour cette grande lieue qui a lieu sur nos continents, où les débris d'espèces actuellement vivantes sont mélangés à ceux d'espèces perdues.

Il est rare que les ossements des cavernes et des brèches soient bien entiers; ils sont le plus souvent fracturés et usés comme s'ils avaient été roulés et charriés pendant longtemps. Ils portent dans quelques circonstances l'empreinte de la dent, et sont brisés comme si de fortes mâchoires les eussent rompus.

D'après la liste que nous venons de donner, on a pu voir qu'il existait dans ce dépôt le plus singulier mélange d'ossements appartenant aux carnivores et aux herbivores; mais ce qu'une liste ne peut offrir, c'est la quantité relative de chaque espèce, et le plus ou moins de fréquence de chacune d'elles. Or, M. Brongniart a fait la remarque curieuse que les neuf douzièmes de ces dépôts appartiennent à des ours, deux autres douzièmes à des hyènes, et un douzième seulement aux autres animaux. L'abondance des ossements d'hyènes, jointe à l'énorme quantité de leurs excréments que l'on rencontre dans quelques cavernes, a fait supposer avec assez de vraisemblance que ces animaux habitaient autrefois ces cavernes où ils se réfugiaient, et où

ils entraînaient les animaux herbivores qu'ils dévoraient. On sait en effet que les carnivores emportent leur proie et vont la dévorer dans leur retraite. C'est ainsi qu'agissaient les hyènes qui dépeçaient des cadavres d'éléphants et de rhinocéros, et emportaient les débris dans leurs charniers. Si l'on ajoute à cela que plusieurs os montrent encore l'empreinte de leurs dents, que d'autres semblent polis et usés d'un côté, ce que M. Buckland attribue au frottement des hyènes, qui marchaient ou se roulaient sur les ossements déposés dans le fond des cavernes, on sera tenté d'admettre cette théorie. Reste cependant la difficulté d'expliquer le mélange des ossements d'hyène avec ceux de leurs victimes. M. Buckland pense qu'elles ont été saisies par l'irruption subite d'une masse d'eau boueuse qui a tout enveloppé dans son limon. On peut encore objecter que les squelettes des hyènes devraient être entiers, ce qui n'est pas; on bien, si l'on fait attention que les animaux, sur le point de périr, cherchent les lieux isolés pour y mourir en paix, et cachent leurs cadavres par une sorte d'instinct, on se demande encore comment des animaux d'espèces si différentes se sont rencontrés par hasard dans le même lieu, et pourquoi encore leurs squelettes ont été dépécés au point que des os, qui se touchent dans l'animal, se trouvent à de grandes distances dans le limon, ou n'y existent pas du tout. Il faut cependant supposer que des grottes dans lesquelles on rencontre des amas de 100 mètres cubes d'ossements d'ours seulement, ont été le lieu de retraite de ces animaux si communs lors de ce genre de dépôt. Cela est d'autant plus probable que les ours actuels se retirent dans des cavernes, et M. Buckland a remarqué en Angleterre même des couloirs très-étroits usés et polis par le frottement occasionné par le passage continu de ces animaux.

Le docteur Malcolmson a fait en Asie, près d'Hydrabad, des observations qui viennent tout à fait à l'appui de celles du docteur Buckland.

« Plusieurs faits intéressants se sont présentés à moi dans une promenade que je fis dernièrement à une masse considérable de rochers de granite, séparés par des fentes

¹ Dr LAMOUR, *Manuel de Géologie*, p. 241.

profondes où se réfugiaient les hyènes et les *chittas*. A partir du pied d'une montagne peu élevée, ces fentes s'étendaient à des profondeurs immenses. M'étant avancé dans une d'entre elles, je fus surpris de voir des quartiers de rocher couverts de stalagmite formée par l'eau qui coule des côtés de la fente à 40 pieds au-dessus, et plus encore de trouver que les côtés du passage étroit par où nous étions entrés avaient un poli très-fin. Mon compagnon l'attribua au passage des animaux, et de mon côté j'avais la même idée. En examinant d'autres endroits, nous ne rencontrâmes cette singularité que là où les animaux devaient nécessairement passer; et quand les angles s'avançaient en pointe vers le sentier, ces angles seuls avaient le poli. La caverne était basse, et dans les enfoncements où je parvins en rampant, se trouvait une quantité d'ossements épars : on y voyait distinctement les traces du passage récent des animaux qui s'y réfugiaient. Les os y étaient pour la plupart brisés, et les excréments des hyènes contenaient de grands fragments de côtes et autres ossements en entier, etc. En examinant de plus près, je fus frappé du grand nombre de têtes de rats, et d'ossements placés, par petits tas, évidemment hors de la portée des hyènes, et souvent même, en des points tout à fait isolés, au-dessous des fentes entr'ouvertes par le haut, les excréments des éperviers indiquaient à ne s'y pas méprendre que ces os étaient les restes de leurs repas. Une plume de vautour que nous trouvâmes parmi les ossements ne nous laissa plus de doute à cet égard. Quelques-uns de ces os tenaient encore à la peau de l'animal et venaient d'être déchiquetés. Ce qu'il y a de singulier, c'est que la mâchoire supérieure et la mâchoire inférieure n'étaient point séparées, mais la chair en avait été nettement détachée pendant la digestion. D'autres os étaient entiers, mais disloqués. Les plus grands crânes étaient brisés par derrière. Dans un tas que je mis à part, se trouvaient les crânes et les ossements de rats de trois espèces, d'écureuils, de chauves-souris et d'oiseaux. Si cette caverne eût eu une autre constitution, nous y aurions

trouvé des fossiles. Il serait intéressant de pouvoir confirmer la supposition de Buckland sur les blocs polis, dans les souterrains. L'étude des mœurs des animaux pourra sur tout éclaircir cette supposition¹.

Que l'on admette maintenant dans cette caverne la présence de l'eau charriant un limon rougeâtre, et entraînant des cailloux roulés et quelquefois volumineux, on concevra très-facilement la création d'un dépôt ossifère, analogue à ceux que nous connaissons.

Ce n'est pas cependant en servant de retraite à des animaux, que la plupart des cavernes ont été remplies d'ossements; les faits que nous venons de rapporter plus haut sont plutôt des exceptions que la règle; il suffit, pour le prouver, de dire que l'on a souvent trouvé des cavernes dont l'ouverture était si étroite que les animaux dont elles recèlent les débris n'auraient pu y pénétrer, ni ceux qui auraient eu la force d'y entraîner leur corps dépécé. D'ailleurs, l'état usé du plus grand nombre d'ossements, la présence de fragments de poteries et de fossiles humains, sont autant de causes qui s'opposent à ce qu'on admette comme générales les explications que nous venons de donner. C'est à des cours d'eau souterrains qu'il faut attribuer les nombreux dépôts de ce genre, qui existent partout. M. Marcel de Serres a parfaitement résumé les motifs qui autorisent cette opinion, dans une lettre écrite à M. Gay-Lussac², et dont nous citons le passage suivant :

« La manière dont ces ossements sont disposés annonce, ce me semble, qu'ils y sont arrivés séparés des animaux auxquels ils avaient appartenu, et réduits à l'état d'ossements isolés. Aussi les y voit-on dispersés sur la plus grande partie du sol de la caverne, mélangés sans aucune espèce d'ordre, montrant parfois des indices d'un transport plus ou moins violent, et usés comme s'ils avaient été roulés, jamais réunis par familles, ni rapprochés en raison des habitudes des animaux qu'ils rappellent. Les carnassiers n'y sont pas plus nombreux que les herbivores, ni diversement situés. Les os des derniers ne mon-

¹ *Asiatic Journal*. (Communication faite à la Société asiat. de Calcutta.)

² *Annales de chimie et de physique*, t. XXX, p. 216.

trent aucun Indien qui puisse faire supposer qu'ils y ont été entraînés par les premiers, qui en auraient fait leur pâture; ils ne présentent pas non plus, comme les os des herbivores déconvertis par M. Buckland en Angleterre, les marques des dents des carnassiers, ni rien qui indique qu'ils ont été rongés.

« D'ailleurs, comment les animaux que nous avons déjà signalés auraient-ils pu pénétrer vivants et entiers dans la caverne de Lunel-Vieil, puisque l'on n'y connaît aucune issue naturelle, assez large pour que des lions, des tigres, des hyènes et autres grands carnassiers qui s'y trouvent, aient pu y entraîner des bœufs, des chameaux, des cerfs, et enfin tous les grands herbivores que nous y avons signalés, pour les dévorer à leur aise? La difficulté serait toujours la même, en supposant qu'ils y fussent venus naturellement. D'ailleurs, si les herbivores avaient servi de pâture aux carnassiers, les uns et les autres n'y seraient pas entassés sans ordre, ni dispersés pêle-mêle; on les verrait au contraire réunis par familles, et disposés par lits successifs; les ossements des carnassiers seraient plus entiers que ceux des herbivores, et par la position diverse des uns et des autres dans le limon, on reconnaîtrait que les premiers y sont morts naturellement, et que les seconds y ont été entraînés pour être dévorés; mais comme ils sont tous dans la même position, il est naturel d'en conclure qu'ils y ont été entraînés par une même cause.

« Cette cause parait avoir été générale dans nos contrées méridionales, et avoir agi sur une multitude de points, en entraînant, soit dans des fentes, soit dans des cavités, une quantité plus ou moins considérable d'ossements de quadrupèdes carnassiers et herbivores avec un petit nombre d'oiseaux.

« Cette cause a été probablement un cours d'eau, à en juger du moins par la nature du limon qui renferme les os, les cailloux roulés qui y sont mêlés, les sables et les graviers qui encombre la partie sud de la caverne elle-même. En effet, sa partie inférieure, surtout vers le sud, montre un assez grand nombre de sillons longitudinaux, légèrement flexueux, comme produits par le ballotement des eaux, tandis que les points saillants, arrondis, présentent un poli plus ou moins par-

fait, dû quelquefois à un léger glacis calcaire. »

Le mode d'introduction des dépôts des cavernes par les ouvertures latérales ou supérieures, explique parfaitement les caractères et les anomalies que nous offrent ces débris. Nous pouvons de cette manière concevoir la dispersion d'ossements primitivement réunis, expliquer la présence des cailloux roulés et du limon, l'enfouissement plus ou moins grand des os, l'épaisseur variable des dépôts. Nous nous rendons compte bien facilement de ces couches superposées de stalactites qui, dans certaines cavernes, partagent les dépôts en plusieurs assises. Il suffit d'admettre de grandes crues qui, à certaines époques, sont venues recouvrir de nouveaux débris, une érode que des infiltrations calcaires avaient formée quand l'eau avait cessé d'y couler. Ce ne sont pas des causes brusques et passagères, comme des déluges ou des cataclysmes, qui ont opéré ce dépôt, c'est le passage continu des eaux par les mêmes canaux.

De nos jours, nous voyons de semblables dépôts se faire dans les cavernes et dans les fentes des rochers.

M. Rouland, dans la séance de la Société de Géologie du 16 mai 1831, a cité l'exemple des grottes de Rancogne, à six kilomètres de la Rochefoucault, et sur la rive droite de la Tardoire, où se forment habituellement des dépôts de limon et d'ossements d'animaux de l'époque actuelle, et où quelques-uns de ces dépôts commencent à se recouvrir d'une couche stalagmitique, lorsque les effets du suintement pierriers des voutes calcaires n'ont pas été dérangés par un retour trop prompt des inondations limoneuses de la rivière¹.

M. Tournal a vu dans les rochers de la Clape, près de Narbonne, une brèche osseuse, formée par les débris d'un mouton tombé depuis moins de vingt ans dans une de ces crevasses. Ces ossements étaient déjà rendus adhérents à la pierre par le limon rouge et l'exsudation calcaire. MM. Boblaye et Virlet ont vu former ce limon dans les bassins fermés de la Grèce, ils l'ont vu pénétrer dans les fentes ou *chasmas*, qui se prolongent en longues et immenses cavernes; enfin, entre la saison des pluies, ils ont vu ces mêmes cavernes ha-

¹ Retour, de la Période quaternaire, p. 84.

bitées par les renards et les chacals, qui, non-seulement y entraînaient leur proie, mais qui ont pu, dans plusieurs circonstances, être surpris eux-mêmes, par une crue subite et être entraînés avec les autres débris, en sorte que les circonstances qui, isolément, peuvent produire des dépôts ossifères, se trouvaient réunies. Or, puisque l'on rencontre dans les cavernes des ossements d'animaux encore existants et d'autres dont les espèces sont perdues, il est naturel de supposer que la formation de ces alluvions souterraines a commencé à une époque bien antérieure à la nôtre et se continue tous les jours sous nos yeux. Il est bien probable que si la fontaine de Vauluse venait à tarir, si d'autres sources aussi abondantes, situées dans le Jura, venaient à se dessécher, on trouverait dans les cavernes sinieuses où elles coulent depuis si longtemps, de nombreux débris appartenant à des époques distinctes. Alors seulement, les stalactites n'étant plus dissoutes par les eaux, descendraient sur le limon et offrirait bientôt tous les caractères des cavernes à ossements.

Il n'y a donc rien d'étonnant que l'on trouve dans des grottes semblables qui sont le lit d'anciens cours d'eau souterrains, des ossements d'éléphant, de rhinocéros et même d'espèces entièrement perdues, avec des ossements humains et des débris de poterie. Leur disposition doit seule donner quelques indices sur leur date relative. Encore peut-il se faire qu'après le dépôt de ces débris divers, une crue subite, produite par des causes qui peuvent être très-différentes, soit venue mélanger et confondre des ossements dont la stratification eût indiqué les différences d'âge. Peut-être aussi l'homme était-il contemporain de ces animaux.

Il est remarquable que le limon qui contient les ossements soit presque toujours le même. Il est évidemment le produit de la décomposition des calcaires, qui tous contiennent plus ou moins d'oxyde de fer. Ce dernier, exposé à l'air, passe à l'état de peroxyde rouge, se délaie et se laisse entraîner pour se déposer ensuite. Les brèches ont bien aussi un ciment calcaire, mais qui paraît le résultat d'une action chimique, tandis que le limon est déposé mécaniquement. On voit donc par ce qui précède, qu'ici, comme dans beaucoup

d'autres circonstances, les causes qui ont donné naissance aux dépôts ossifères souterrains ne sont pas les mêmes ;

Qu'en général ces causes ont été lentes et progressives, et que, dans quelques cas seulement, des crues subites ont pu saisir des animaux vivants ou déposer leurs cadavres ;

Que les eaux ont charrié avec le limon les ossements qui s'y trouvent ensevelis, et que ce transport a lieu depuis très-longtemps, puisqu'il s'effectue encore de nos jours, et qu'il a transporté autrefois des espèces qui n'existent plus maintenant.

La variété des espèces et leur rapprochement, ainsi que leur fréquence dans chaque localité, indiquent que ce sont généralement des circonstances locales qui ont le plus d'influence sur les dépôts d'ossements, de sorte que l'on peut y rencontrer aussi des corps très-variés, tels que des coquilles d'eau douce, ou même des coquilles marines, comme on l'a déjà observé dans plusieurs brèches.

C'est à un phénomène tout à fait analogue à celui des brèches osseuses qu'il faut rapporter les fentes remplies, que l'on a longtemps considérées comme des filons, et dont Werner s'est servi pour établir sa théorie. On doit d'autant mieux les comparer aux brèches osseuses, que souvent elles contiennent effectivement des ossements, surtout quand elles sont remplies de minerais de fer en grains. Ces grains sont accompagnés d'une argile ocreuse rougeâtre qui les enchâsse et qui a du rapport avec le limon des cavernes. On y trouve les débris de l'*urus spelæus*, si abondant dans les grottes ossifères, quelquefois le rhinocéros, le cerf, le cheval, le mastodonte, etc. Aussi M. Brongniart considère ces dépôts comme tout à fait contemporains des brèches osseuses¹.

D'autres gîtes, sans appartenir à la même époque, ont été évidemment remplis par en haut.

Un des plus remarquables, sans contredit, serait le Pulzenwerk de Joachimsthal en Bohême ; il consiste en une grande masse cunéiforme de wake, intercalée dans le phyllade,

¹ Alex. BRONGNIART, *Annales des Sciences natur.*, août 1838 et janvier 1839.

dont il coupe les strates en même temps qu'il traverse plusieurs flons, sans en changer la direction ; il atteint une profondeur de plus de 400 mètres, et sa largeur, qui, à la surface du terrain, excédait 100 mètres, ne se trouve plus que de 20 mètres à 300 mètres plus bas. Il renferme des pierres de diverses espèces et des débris d'êtres organisés, parmi lesquels on trouve des arbres entiers avec leurs branches et leurs feuilles à demi bituminisées, que les habitants du pays appellent bois du déluge, comme s'ils y eussent été portés et enfouis par le déluge universel¹.

Le gîte de Maria Loretta en Transylvanie, près de Fatzeberg, est encore fort curieux. Il consiste, selon de Born, en une fente ennéiforme remplie de grès en couches horizontales, et contenant une quantité d'or assez considé-

rable pour être l'objet d'une exploitation importante. La présence de l'or dans cette crevasse serait difficile à expliquer, si l'on ne se rappelait que presque toutes les plaines de la Transylvanie et du Bannat contiennent des particules de ce métal.

On trouve aussi dans les mines de charbon un grand nombre de fentes que l'on désigne sous le nom de failles, et qui sont remplies, seulement par éboulement, de fragments des couches environnantes, et d'autres dans le remplissage desquelles le charriage des eaux entre pour quelque chose.

On conçoit, en effet, que le transport des débris dans des fentes ou dans des cavernes ait eu lieu depuis très-longtemps, et nous n'insisterons pas davantage sur des faits aussi faciles à saisir.

CHAPITRE ONZIÈME.

DE LA FORCE CRÉATRICE DES EAUX DE LA MER.

Si les eaux qui sont rassemblées dans les bassins de l'Océan étaient immobiles, elles n'auraient aucune action sur les côtes, et celles-ci resteraient sensiblement les mêmes, sans que leurs contours fussent altérés. On sait qu'il n'en est pas ainsi, puisque la mer est assujettie perpétuellement à trois mouvements distincts qui peuvent se combiner ou agir isolément. Nous allons donc examiner successivement chacune de ces espèces de mouvements, c'est-à-dire les *marées*, l'*action des vagues* et celle des *courants*.

ACTION DES MARÉES.

Il semblerait, au premier abord, que l'impulsion imprimée régulièrement aux eaux par

l'attraction planétaire, dût produire sur les côtes des effets d'érosion ou de transport en rapport avec la durée de cette force ; mais c'est à peine si on aperçoit leur action. Dans les temps calmes, les lames qui résultent du flux et du reflux étant toutes données d'un mouvement régulier, avancent sur la plage sans en soulever les galets, quelquefois même sans déranger les particules de sable sur lesquelles elles glissent pendant longtemps. Si les rivages sont escarpés, les lames les attaquent, mais le petit effet qu'elles produisent se perd dans le résultat de l'action des vagues quand un vent violent les anime. Les marées n'ont donc qu'une action infiniment petite, lors même qu'elles s'élèvent beaucoup et qu'elles acquièrent leur plus grande force. Elles n'ont guère d'influence qu'aux embouchures des fleuves dont elles doivent nécessairement modifier les deltas. Il ne s'ensuit pas que le mon-

¹ FOURNET, *Études sur les dépôts métallifères*, p. 70.

vement régulier des eaux marines n'ait jamais eu d'action sur les côtes; mais comme ces mouvements sont les mêmes depuis des siècles, il en résulte que depuis longtemps aussi les effets doivent avoir été produits. Cependant, tous les jours il se forme dans la mer, de nouveaux bancs qui sont déposés par les vagues ou par le transport des fleuves, et les marées peuvent agir sur ces créations nouvelles, comme elles ont agi autrefois dans la disposition des côtes et le dépôt des sables qui leur sont adossés. Leur vitesse, d'ailleurs, qui est peu considérable quand aucun obstacle ne se présente, peut augmenter de beaucoup, si les flots sont emprisonnés dans un détroit ou brusquement détournés par quelque obstacle. L'eau qui, dans d'autres cas, pouvait à peine élever du sable, peut alors soulever des galets, les frapper les uns contre les autres, les lancer sur la plage ou s'en servir pour battre en brèche des falaises calcaires, qui cèdent bientôt à leur choc réitéré.

Les marées ont cependant pour résultat d'élever et d'abaisser périodiquement la surface de l'eau, au lieu de lui assigner une hauteur moyenne pour limite. Il en résulte que les effets produits par les vents, qui sont bien plus considérables que ceux du flux et du reflux, s'étendent sur une plus grande échelle, puisque le niveau des vagues actives est élevé ou abaissé par la marée. Ainsi, une vague qui ne viendra battre en brèche qu'à la hauteur de 6 pieds, pourra atteindre, pendant le flux, une élévation de 25 pieds, et agir par conséquent sur une plus grande surface. Il faut donc considérer l'attraction planétaire comme dégradant très-pen nos continents, malgré le frottement continu que les vagues font éprouver aux rivages.

Nous ne savons pas si le mouvement du flux et du reflux a lieu avec la même vitesse jusqu'aux profondeurs de l'Océan, et nous ignorons, dans ce cas, si l'énorme pression de l'eau tend à dégrader le fond des mers et à en enlever les matériaux pour les transporter ailleurs; ou présume pourtant que cet effet n'a pas lieu, parce qu'en pleine mer les eaux sont parfaitement limpides et ne contiennent pas de matières terreuses en suspension.

ACTION DES VAGUES.

Il faut distinguer les vagues que le vent soulève des lames et des ondulations que la marée amène, et dont l'élévation et l'étendue ne varient, en temps calme, que d'une hauteur presque déterminée d'avance par la connaissance de la situation de la lune et du soleil.

Les vagues doivent aux vents leur origine; elles s'élèvent, s'abaissent, s'avancent ou se retirent, selon l'intensité des courants d'air, suivant leur durée et leur direction. Elles s'élèvent quelquefois très-haut dans les gros temps; elles soulèvent les sables et les cailloux, et l'eau qui n'est pas trop éloignée des côtes, est chargée de débris soulevés du fond de la mer. Les vents dominants donnent une certaine puissance aux vagues, qui se dirigent toujours du même côté, finissent par entamer le sol, ou par y déposer de puissantes couches de sable ou de galets.

Il est assez singulier que, sur certains points, les vagues puissent déposer des matériaux, tandis qu'elles en enlèvent sur d'autres qui sont situés sur la même ligne. C'est cependant ce qui arrive fréquemment même sur nos côtes de France, qui se dégradent sur quelques parties de la Normandie, et qui se couvrent de sables dans le département des Landes. Ce singulier résultat tient en grande partie à l'escarpement plus ou moins grand des rivages et à la nature des roches qui les composent. Si la mer est bornée par une falaise escarpée, comme cela a lieu sur plusieurs points de la Normandie, et surtout dans les îles *Sethland* (fig. XII et XIII), les vagues viennent frapper continuellement contre ces rochers et les dégradent insensiblement. Les parties les plus tendres sont les premières emportées; les plus dures résistent, et il résulte souvent de ces érosions partielles des roches les formes les plus bizarres : les unes sont droites et presque carrées, d'autres sont arrondies comme de grandes coloues; quelques-unes, après par le bas, se présentent renflées par en haut, et offrent une grosse ressemblance avec certains champignons; d'autres sont percées d'entre en outre; on en voit qui ayant perdu leur équilibre, à cause des érosions inférieures, sont tombées les

unes sur les autres et forment comme des ruines que l'eau achève d'entrainer. Lorsque les falaises sont composées de plusieurs couches de roches dont la dureté est différente, les plus tendres sont bientôt détruites, et il se forme des cavernes que l'eau agrandit toujours. L'air chassé dans ces grottes y rend quelquefois des sons particuliers analogues à ceux que l'on entend dans la grotte de Fingal. Les parties dures du rocher restent au contraire en saillies du côté de la mer, jusqu'à ce qu'elles tombent en fragments qui s'amoncellent au bas de l'escarpement. Ces débris peuvent former une sorte de digue naturelle, qui défend alors la falaise qui vient d'être entamée; mais le plus souvent la vague les entraîne, les frotte les uns contre les autres, les roule et les arrondit, et vient frapper avec eux les assises qui, jusque-là, avaient résisté. On voit même quelques falaises qui, attaquées par l'eau, y versent d'immenses quantités de cailloux siliceux, en partie arrondis, qui se trouvaient encastrés entre leurs couches. La mer, en attaquant aussi les rivages, a dû quelquefois creuser des baies profondes, ou du moins découper avec plus ou moins d'intensité et de variété la ligne sur laquelle ses eaux viennent se joindre à la terre.

Il arrive aussi qu'après avoir dégradé un rivage, la mer y accumule une si grande quantité de galets qu'elle se forme à elle-même une digue qu'elle ne peut plus dépasser. On a plusieurs exemples de ce genre sur les rivages d'Angleterre. M. de Labèche en cite un fort curieux sur la côte méridionale du Devonshire :

« Au fond de la baie de Start, et sur la longueur d'environ 5 à 6 milles, on voit un banc considérable composé principalement de petits galets de quartz, qui a été formé par les flots de la mer. La ligne de côte fait face à l'est. Entre Tor Cross et Beeson Cellar, se trouve une pointe de terre soumise à l'action des brisants; mais là comme ailleurs, en deçà du banc, le terrain a évidemment gagné sur la mer, ou, en d'autres termes, la mer s'est élevée à elle-même une barrière qui l'empêche d'atteindre l'escarpement, même pendant les plus fortes tempêtes, comme elle l'a fait autrefois.

» Ce banc, généralement connu sous le

nom de *Slapton Sands*, quoique composé en totalité de petits galets, garantit et bloque, pour ainsi dire, les embouchures de cinq vallées. Au milieu du *Slapton Sands*, il y a un lac d'eau douce, divisé en deux parties : au pont de Slapton, où les eaux de la partie nord s'écoulent dans la partie sud, la partie nord est presque entièrement remplie de détritus boueux, apportés par une rivière qui reçoit les eaux d'un pays de quelques milles d'étendue, et elle est presque toute couverte de joncs et autres plantes aquatiques. La partie sud, qui est la plus considérable, est tout à fait découverte et a plusieurs acres d'étendue; les eaux sont fournies par des ruisseaux qui viennent des cantons situés en arrière, et filtrent ordinairement à travers les galets pour arriver à la mer. Cependant, aux époques des hautes marées, ou lorsque les flots sont soulevés par des tempêtes, il arrive quelquefois, par suite du changement dans les niveaux relatifs, que l'eau de la mer passe à travers les galets et pénètre dans le lac, dont elle rend alors les eaux saumâtres jusqu'à une certaine distance. C'est ordinairement pendant l'hiver que cela arrive; mais, généralement, les niveaux relatifs sont tels que les eaux du lac versent leur surplus dans la mer, et restent complètement douces. Il contient une grande quantité de truites, de perches, de brochets, de rougets et de carrelets. La présence de ce dernier poisson, qu'on pêche ordinairement dans la mer où dans les embouchures de rivières, montre qu'il peut s'accoutumer peu à peu à vivre dans l'eau douce. La filtration de l'eau de mer à travers les galets, durant la tempête, ne paraît pas nuire aux poissons d'eau douce; néanmoins, lors de la violente tempête de novembre 1824, il se forma une brèche à travers ce banc, par laquelle la mer fit une irruption soudaine, qui fit périr presque tous les poissons; mais le petit nombre qui échappa suffit pour qu'au bout de cinq ans le lac fut abondamment repeuplé.

» La rupture faite au banc de *Slapton Sands* resta ouverte pendant à peu près un an, mais en devenant graduellement plus petite. On trouva moyen de hâter son entière réparation en jetant l'un sur l'autre, dans la brèche, quelques sacs remplis de cailloux,

sur lesquels deux ou trois grosses mers eurent bientôt reformé un banc solide *.

Cet exemple, ainsi que plusieurs autres que nous pourrions citer, prouve que les vagues peuvent former des plages de galets très-étendues, et il suffit d'ailleurs de se promener sur la plupart des rivages pour se convaincre de cette vérité. On voit même que ces plages s'étendent plus loin que la portée des vagues, car non-seulement elles amènent des cailloux roulés jusqu'aux limites où elles peuvent parvenir, mais dans les grandes tempêtes, leur force impulsive est telle, que les cailloux projetés conservent même assez de force pour pousser ceux qui sont devant eux et les faire avancer. On voit dans ces circonstances des vagues soulever d'énormes fragments de rocher, et les briser les uns contre les autres.

Pendant la tempête de novembre 1824, qui ravagea une partie de la côte méridionale de l'Angleterre, un bloc rectangulaire du poids de un et demi à deux tonneaux, fut violemment arraché d'une jetée à *Limerégia*, et rejeté au-dessus par la force d'un brisan. M. Harris a assuré à M. de Labèche, que pendant cette même terrible tempête, et au commencement de 1829, des blocs de calcaire et de granite du poids de 2 à 3 tonneaux, furent lancés sur la jetée de Plymouth comme de simples cailloux. Un bloc de calcaire du poids de 7 tonneaux, fut enlevé à l'extrémité ouest de la jetée, et charrié à 150 pieds de distance. A la jetée de la baie de Bovey-Sands, à l'entrée de la rade de Plymouth, on voit une masse de maçonnerie qui a été transportée en arrière d'environ dix pieds, et qui au moment où elle fut atteinte par la vague, était à 16 pieds au-dessus du niveau des grandes marées de 18 pieds. Cette masse de construction pèse environ 7 tonneaux, et est formée d'un petit nombre de pierres de taille calcaires cimentées ensemble, et recouvertes d'un énorme bloc de granite; ces pierres étaient réunies entre elles à queue d'aronde, et la masse formait une partie d'un parapet, qui faisait face à la mer.

Outre les cailloux de toute grosseur, les

vagues amènent souvent sur le rivage des sables qui s'y dispersent en nappes étendues, ou que le vent rassemble en collines mouvantes. Ces sables proviennent évidemment du frottement des roches et du transport du terrain que les fleuves conduisent dans la mer. Il s'y mélange souvent des débris de coquillages, et quelquefois des ciments calcaires les emparent et en forment des grès ou des roches solides, comme celles qui se reproduisent journellement sur la côte de Messine, et comme celle qui contient les squelettes humains de la Guadeloupe. Le plus souvent ces sables restent désunis. Ceux qui sont déposés par le reflux, sur une côte presque aplatie, ont le temps de sécher avant le retour d'une seconde marée, pour peu que les vents qui y règnent, soient aidés par les rayons du soleil. Ceux qui viennent ensuite s'y déposer se dessèchent bientôt, et le vent les emmène avec une vitesse plus ou moins grande, comme nous l'avons déjà vu en nous occupant de son action. Il y a alors de grands espaces entièrement couverts de ces sables maritimes.

D'autres fois les vagues charrient des sables qui ne sont pas rejetés jusque sur les côtes, et qui restent à une petite profondeur sous forme de bancs. On en trouve ainsi le long des côtes où des fleuves viennent se rendre à la mer, et quelquefois ces bancs submergés s'étendent très-loin du rivage.

ACTION DES COURANTS.

Nous ne savons à peu près rien de la puissance érosive des courants; puisque nous ne pouvons les suivre jusqu'au point où ils touchent le sol. Il est probable qu'ils agissent comme les cours d'eau, qu'ils dégradent certains points pour en combler d'autres, entraînant à la fois les sables, les graviers et les corps organiques dont les dépouilles se précipitent tous les jours au fond des mers. On sait que près des côtes les courants entraînent quelquefois les deltas des grands fleuves, tandis que dans d'autres circonstances ils viennent rejeter sur les bords les débris qui étaient portés trop avant dans la mer. Peut-être doit-on attribuer aux courants la création de certains bancs de sable qui se forment ou s'augmentent sur leur passage. Mais si nous

* DE LABÈCHE, *Manuel de Géologie*, p. 91.

* Idem, p. 94.

ignorons l'action des courants à une certaine profondeur, nous savons du moins qu'ils ont une grande force de transport, et qu'ils charrient souvent à leur surface ou des montagnes de glaces ou d'immenses débris de forêts. Ils amènent tous les ans sur les côtes glacées du Spitzberg, une énorme quantité de bois. Ce sont des troncs de mélèzes, de pins et d'autres arbres résineux, qui croissent en Sibérie, ainsi que quelques autres espèces qui paraissent originaires de l'Amérique. Ces arbres sont entraînés par les grands fleuves de l'Asie et de l'Amérique. Les uns sont apportés par le courant de Bahama, et les autres par un courant qui règne au nord de la Sibérie. Dans certaines années, les baies du Spitzberg en sont remplies.

M. Robert cite aussi la prodigieuse quantité de bois flottés, qu'il rencontra sur les côtes d'Islande, et les examinant avec soin, il crut reconnaître, 1° qu'ils provenaient au moins de deux continents; 2° qu'ils avaient dû atteindre les mers glaciales dans un assez bon état de conservation; 3° qu'avant d'échouer en partie sur l'Islande, ils avaient été engagés dans des glaces, où ils avaient été rabotés au point qu'ils abordaient sans branches, sans racines et sans écorce: cette dernière se trouvant souvent à côté et roulée comme un parehemini. M. Robert a reconnu de l'acajou, dont plusieurs troncs avaient été percés par des tarêts, mais il ne put rencontrer aucun fruit¹.

Ces mêmes courants charrient aussi d'immenses nappes de fucus, qu'ils arrachent sans doute aux rochers entre lesquels ils passent avec une certaine vitesse.

DES ACTIONS RÉUNIES DES MARÉES, DES VAGUES ET DES COURANTS.

Nous avons cherché dans ce qui précède à rapporter à chacune de ces causes isolées les effets qui lui appartiennent réellement; mais il est bien difficile de calculer avec justesse celle qui l'emporte dans les divers empiétements de la mer sur les continents. En résumé, nous voyons que si la mer amène des sables et des cailloux roulés sur les rivages; si

les fleuves, en formant leur delta, s'emparent d'une petite partie de son bassin, d'un autre côté, les vagues, les courants et les marées se réunissent pour entamer les côtes, et rendre à l'Océan, sur des points divers, le terrain qu'il peut avoir perdu sur d'autres.

Ces érosions, produites par la mer, se voient sur presque toutes les côtes. Déjà nous avons cité la formation du Zuyderzée en Hollande; mais dans cette contrée même l'Océan lutte continuellement contre le delta du Rhin, et si les travaux des hommes, quelques petits qu'ils soient, n'avaient pas mis obstacle à la libre impression des vagues, une partie de la Hollande serait maintenant engloutie, et ce sol, déjà formé de débris, en est entraîné par la mer qui sans doute l'aurait déposé plus loin. Les îles Setthland, dont le docteur Hlibbert a décrit les singulières roches façonnées par l'action de la mer, eussent été détruites depuis longtemps si elles eussent été formées de roches et de terres alluviales, comme la Hollande. L'île Julia qui a surgi dans la Méditerranée, a été bientôt balayée par les vagues qui couvrent maintenant le lieu où elle s'était émergée.

De tels exemples seraient faciles à trouver et à reproduire; mais l'on sait que l'action destructive de la mer se continue tous les jours, et qu'elle agit indistinctement sur les côtes de la France ou de l'Angleterre, sur les rivages de l'Asie ou sur ceux de l'Amérique.

Il est probable que l'action prolongée de la mer donnera naissance à de nouveaux détroits. Il en est un, peu profond à la vérité, qui semble avoir été creusé depuis les temps historiques, près de la presqu'île de l'Inde. Il se rapporte aux îles de Manar et de Ramisseram, liées ensemble par un banc de sable appelé *Adam's Bridge* (Pont-d'Adam). La première île est très-rapprochée de la côte de Ceylan, et la seconde assez voisine de la province de Ramnad, dans l'Indostan. Le détroit n'a que 62 milles (20 lieues) de large. Le canal le plus usité pour les petits bâtiments est sur la côte occidentale du détroit, où l'action de la mer produit de singulières digues au moyen de grès désagrégé. D'après les documents conservés dans la pagode de Ramisseram, cette île était encore liée à l'Indostan vers la fin du xv^e siècle. Suivant la direction

¹ Institut, 4^e année, p. 135.

des moussons, le sable est transporté d'un côté à l'autre du banc appelé Pent-d'Adam *.

Plusieurs de nos détroits ont probablement été creusés de la même manière, et en aidant un peu l'histoire, à la manière de certains antiques, en retrouverait même quelques traces de l'événement qui a joint la Méditerranée à l'Océan.

« En remontant dans le royaume de Valence, des bords de la Méditerranée vers les hautes plaines de la Manche et des Castilles, on croit reconnaître fort avant dans les terres, dans des escarpements prolongés, l'ancienne côte de la Péninsule. Ce phénomène curieux rappelle les traditions des Samothraciens, et d'autres témoignages historiques, d'après lesquels on suppose que l'irruption des eaux par les Dardanelles, en agrandissant le bassin de la Méditerranée, a déchiré et englobé la partie australe de l'Europe. Si l'on admet que les traditions doivent leur origine non à de simples rêveries géologiques, mais au souvenir d'une ancienne catastrophe, on voit le plateau central de l'Espagne résister aux effets de ces grandes inondations, jusqu'à ce que l'écoulement des eaux par le détroit fermé entre les Colonnes d'Hercule ait fait baisser progressivement le niveau de la Méditerranée, et reparaitre, au-dessus de sa surface, d'un côté la basse Égypte, et de l'autre les plaines fertiles de Tarragone, de Valence et de Murcie ». »

Si telle n'est pas l'origine du détroit de Gibraltar, on ne peut du moins disconvenir que la Méditerranée n'ait eu un niveau bien plus élevé autrefois qu'aujourd'hui ; au défaut de preuves historiques positives, des faits géologiques le démontrent à l'évidence.

Un isthme étroit unissait probablement aussi les îles Britanniques au continent, et augmentait encore les profondes découpures que nous présentent les côtes de l'Europe. Un détroit dans lequel coulent maintenant deux courants opposés remplace cet isthme, et les couches de terrain qui forment les rivages sur ses deux bords ne laissent aucun doute sur l'ancienne jonction de ces deux terres.

* *Athenaeum*, n° 318, 30 nov. 1855, p. 819.

* *Humboldt, Voyage aux régions équinoxiales*, t. I, p. 87.

« Transportons-nous à l'époque où la Manche était fermée, et suivons dans sa direction le courant du flot, nous le verrons frapper les côtes d'Angleterre et l'isthme qui la réunissait à la Belgique. Une perturbation de ce courant se réfléchissait ensuite vers le sud, parallèlement aux collines qui séparent le haut-pays des bas-champs du Boulonnais. Elles étaient alors coupées à pic et couronnées par cette espèce de remous auquel elles doivent la forme concave et le gisement qu'elles ont conservés.

« Cet état de choses aurait été permanent si l'isthme eût présenté à l'action des vagues une masse indestructible ; mais il n'en était pas ainsi, et continuellement attaqué à sa base, il s'en détacha des blocs énormes ; les eaux se chargèrent de la marne dont ils étaient composés, elles roulèrent le silex qui y était enlevé, et le déposèrent au pied des falaises qui leur servaient alors de limites. Le remous, dont la direction leur était parallèle, n'avait pas une fort grande largeur ; il rencontrait à peu de distance de la côte le courant principal dirigé en sens contraire ; il se fermait à cette rencontre une lame en mille can dans l'étendue de laquelle la vitesse était nulle, les molécules terreuses qui provenaient de la destruction de l'isthme, et que les eaux tenaient suspendues, se déposaient sur le fond où elles ont formé, par un exhaussement successif, les terrains qui sont maintenant renfermés de digues le long de la mer dans le Pas-de-Calais. La partie la plus haute de ces espèces d'écueils se trouvait précisément sur la limite du courant principal et du contre-courant. Le lit de celui-ci, occupant en quelque sorte tout l'espace compris entre eux et les anciennes côtes, conserva une plus grande profondeur. Ainsi ces écueils, qui se découvraient peut-être à marée basse, ont servi de points d'appui à des alluvions postérieures et ont fermé, dans les premiers temps qui suivirent la destruction de l'isthme, les petites îles dont les historiens font mention.

« Le remous auquel nous venons d'attribuer la formation des bas-champs du Boulonnais s'établissait, comme nous l'avons dit, par le retour des eaux du courant principal, après qu'elles avaient frappé la langue de terre dont il est question, c'est-à-dire lorsque

la mer était déjà montée d'une certaine quantité, dans toute l'étendue du golfe; mais avant que le remous commençât à se faire sentir, une portion du courant principal se dirigeait depuis le cap d'Antifer parallèlement aux falaises de la haute Normandie, et suivait le pied des collines d'Oival et de Brutelle, qui se prolongent dans la même direction. Cette portion du courant avait une vitesse moindre que celle du courant principal dont elle était détachée, de sorte que celui-ci était parvenu au fond du golfe et s'était déjà réfléchi parallèlement aux côtes du Boulonnais, lorsque le courant secondaire parvenait à l'extrémité des falaises que nous venons d'indiquer. Ce dernier aurait contourné le rocher de St.-Valléry et se serait prolongé au delà, si les eaux amenées par le remous, dans une direction contraire, ne lui eussent pas présenté un obstacle; mais celles-ci, après avoir couvert l'emplacement de Marquenterre, tendaient également à contourner le mont Blanc, en entrant par la vallée d'Amboise. Les deux courants opposés se rencontraient entre cette petite montagne et l'extrémité de la falaise de Brutelle, où se trouve aujourd'hui le village de Pandé. L'équilibre s'établit entre leurs actions réciproques, les sables qu'ils charriaient s'y déposèrent et formèrent une espèce de barre.

» Voilà sans doute l'origine de cette crête sablonneuse qui sépare les bas-champs d'Étrebœuf de ceux de Leuchère et de Sallenelles, et au pied de laquelle la petite rivière d'Amboise prend sa source.

Si, au lieu de supposer que les collines de Boismont et de Port se réunissaient entièrement pour former le lac dont la vallée de Somme a depuis occupé la place, on imaginait qu'elles étaient séparées par une petite gorge, cette gorge dut bientôt être obstruée par les matières que les eaux du contre-courant, devenues stagnantes, déposaient, et ce dépôt n'aurait pas tardé à former une digue qui aurait soutenu les eaux du lac dont le fond s'inclinait alors depuis la mer jusqu'au point où sa profondeur était la plus grande, dans l'intérieur de la vallée.

» C'est de la superficie des bancs qui se formèrent à cette époque au fond de la petite anse où la Somme a maintenant son embou-

chure, que les vents élevèrent tout le sable qui recouvre aujourd'hui le cap Cornu et ses environs. Il est en effet extrêmement fin et ne contient ni gravier ni cailloux roulés, ce qui caractérise essentiellement les dunes; car les dépôts sablonneux, qui doivent leur origine à des courants, en sont d'autant plus mêlés et les présentent dans un désordre d'autant plus marqué, que les eaux qui les ont charriés étaient plus fortement agitées.

» Pendant qu'un courant violent agissait dans la Manche contre la langue de terre qui joignait le continent à la Grande-Bretagne, et que différents remous préparaient de nouvelles terres le long des côtes de la France, un autre courant détaché de celui qui fait refluer les eaux de l'équateur aux pôles, contournait les Iles Britanniques et venait par la mer du Nord attaquer le même isthme. Quelque épaisseur qu'on lui suppose dans son état primitif, il devait enfin céder à la constance et à l'énergie des causes qui tendaient à le détruire. Sa destruction dut même s'accélérer d'autant plus que les côtes qu'il présentait aux deux mers s'élevaient verticalement et semblaient braver avec plus d'audace l'effort réuni de leurs flots.

» Nous voici parvenus à une époque où un nouvel état de choses va s'établir: une partie du continent va en être séparée, et les eaux qui s'amoncelaient au fond d'un golfe vont s'écouler par un détroit. Arrêtons-nous un instant à décrire les circonstances dont cette catastrophe fut probablement accompagnée.

» Le détroit n'eut point d'abord la largeur que nous lui voyons aujourd'hui: ce ne fut dans les premiers temps de son existence qu'un simple pertuis qui peut-être même ne fut pas ouvert dans toute la hauteur de la côte; mais il ne tarda pas à s'élargir et à devenir plus profond. Le courant qui entrant dans la Manche, arrivait à son extrémité beaucoup plus tôt que celui qui contournait l'Angleterre, les eaux du premier s'écoulaient avec force dans la mer du Nord, en rogeant les revers de leur nouvelle issue, dont elles entraînaient au loin les débris. A mesure qu'elles se frayèrent un passage plus proportionné à leur volume, on conçut qu'elles s'élevèrent successivement à une moindre hauteur le long des côtes, et qu'enfin le détroit

s'étant élargi convenablement, les hautes mers se sont abaissées à leur niveau actuel. Cet élargissement a sans doute été l'ouvrage de plusieurs siècles, pendant lesquels les marées se sont fait sentir dans quelques vallées fort au-dessus des points où elles parviennent aujourd'hui. De là ces anciennes traditions qui indiquent certains lieux élevés et reculés dans les terres comme ayant été autrefois baignés par les eaux de la mer.

» Cette tradition, qui s'est conservée dans la vallée de la Somme, porte à croire que le lac auquel elle servait de lit fut ouvert à son embouchure avant que le détroit eût acquis une largeur suffisante pour abaisser le niveau des marées dans la Manche au point où il est descendu depuis. On conçoit que par l'écoulement des eaux dans la mer du Nord, les courants qui avaient alors régné le long des côtes, durent éprouver quelques changements en direction et en intensité. Le remous qui suivait du nord au sud le rivage occidental de l'ancienne Belgique, dont partout perdre de plus en plus de sa force. Non-seulement il détruisit moins rapidement les falaises qu'il contournait, mais encore il transporta à de moindres distances les matières qui en provenaient. Les dépôts qu'il en avait formés autrefois dans le renforcement qu'occupe l'embouchure de la Somme, cessant d'être alimentés, éprouvèrent eux-mêmes le sort des collines à la destruction desquelles ils devaient leur formation. Ils furent attaqués avec d'autant plus de violence que les vents du nord-ouest, dont la fréquence avait probablement déjà lieu, portait l'action des vagues directement contre eux. Enfin, le prolongement des petites falaises de Port et de Boismont contre lesquelles ils étaient adossés, demeura exposé à son tour, aux efforts de la mer. Comme cette espèce de digue s'inclinait vers les terres, son sommet s'abaissa à mesure que ses fondements furent sapés, et il arriva une époque où les canx, retenues dans le lac, commencèrent à s'écouler en tombant par une ou plusieurs cascades qui produisirent au pied de la falaise un afouillement dont la direction prépara l'embouchure future de la Somme.

» D'autres causes non moins énergiques se réunirent aux efforts de la mer, pour anéan-

tir la digue qui soutenait encore à une certaine hauteur les eaux qui couvraient la vallée. Les filtrations, les gelées, l'action des pluies, mais particulièrement le courant de la marée montante et descendante, achevèrent de détruire la contre-pente suivant laquelle le fond du lac était incliné vers les terres. Il est en effet facile d'imaginer que les eaux de la mer, qui s'élevaient encore dans le canal britannique à une plus grande hauteur qu'aujourd'hui, devaient entrer dans la partie inférieure de la vallée de la Somme, et en sortir avec une vitesse fort au-dessus de celle dont elles sont animées lorsqu'elles y entrent ou qu'elles en sortent dans l'état actuel. C'est aussi à la rapidité du torrent qu'elles formaient qu'il faut attribuer l'escarpement de la petite montagne de St.-Valléry, dont elles baignaient le pied du côté du nord et celui de la colline sablonneuse qui s'étend en talus fort incliné depuis le cap Cornu jusqu'à l'origine des bas-champs, du côté du Houllel.

» Avant que les eaux du lac dont il est question se fussent réunies et eussent creusé le lit de la Somme, les bords en étaient habités par de petites peuplades, dont, à la vérité, ni l'histoire ni aucune tradition n'ont conservé le souvenir, mais de l'existence desquelles il n'est pas permis de douter. Leur position sur les bords d'un vaste étang, dut les porter à faire de la pêche leur principale occupation, peut-être même y furent-elles attirées par la facilité qu'elles trouvèrent à en tirer leur subsistance, dans un siècle où l'agriculture n'avait pas civilisé les hommes.

» Les habitants des deux villes opposées ne regardèrent pas longtemps la vallée qui les séparait comme un obstacle à leur réunion ; ils avaient eu fréquemment l'occasion de sonder la profondeur du lac, sur lequel ils avaient appris à diriger leurs pirogues. Ils reconnurent la possibilité de barrer la vallée, et ils élevèrent jusqu'au-dessus de la surface des eaux, ces chaussées de tuf dont quelques-unes existent encore aujourd'hui. Les matériaux dont ils les construisirent exerçant une forte pression sur la tourbe encore liquide qui couvrait le fond de l'étang, produisirent l'affaissement de l'inflexion et cette couche, ainsi qu'on peut encore le remarquer dans les en-

droits où ces chaussées ont été coupées transversalement au-dessous du terrain naturel.

» A mesure que ces peuplades s'étendirent et s'accrurent, le besoin d'établir des communications faciles se fit sentir, et la vallée se couvrit de digues, au moyen desquelles il devint aisé de la traverser. Lorsque des pluies considérables faisaient gonfler les eaux supérieures, elles s'écoulaient par-dessus chacune d'elles, jusqu'à ce qu'elles fussent abaissées à leur hauteur ordinaire; ainsi l'aspect primitif de la vallée fut changé par le travail des hommes; ce n'était plus un lac continu, mais de petits étangs séparés les uns des autres, sur lesquels on reconnaissait peut-être déjà le droit de propriété.

» S'il existe dans certaines contrées des habitudes que le temps n'ait point détruites, et que les progrès de la civilisation n'ont pu que faiblement altérer, le genre de vie actuel des pêcheurs de la Haute-Somme vient à l'appui de nos conjectures sur celui des anciens peuplades que nous supposons avoir habité sur ces bords. Une longue suite de siècles n'a point entièrement dénaturé les mœurs

de ces anciens habitants. L'usage de retirer des eaux l'objet de leurs premiers besoins s'est transmis d'âge en âge, et s'est conservé à travers les révolutions, avec d'autant plus de facilité, que la pêche dont ils s'occupaient n'exigeant aucune fatigue, a favorisé l'oisiveté naturelle et le goût du repos qui éloignent encore aujourd'hui leurs descendants des travaux pénibles de l'agriculture ¹.

Nous avons rapporté cet exemple avec détails, pour montrer combien les faits géologiques, quand ils sont recueillis avec autant de sagesse et de discernement, et enchaînés avec une si saine logique, l'emportent sur la confusion des récits historiques, et combien les phénomènes de la nature sont plus instructifs que les annales des peuples. Cet exemple remarquable prouve d'ailleurs l'immense influence que peut exercer l'action érosive des mers sur la configuration des continents. Qui sait si plusieurs péninsules ne se détacheront pas encore de l'Europe, et si l'isthme de Suez et celui de Panama ne tomberont pas un jour sous l'action séculaire des vagues et des courants?

CHAPITRE DOUZIÈME.

ACTION DE L'EAU SOLIDE.

L'eau ayant la propriété de s'infiltrer partout et de pénétrer un grand nombre de roches, il en résulte qu'elle acquiert tout à coup une grande puissance de destruction, si la température vient à s'abaisser au-dessous de 0. Que l'on se rappelle, en effet, que ce liquide augmente de volume en se solidifiant, et l'on concevra suite les résultats de cette cristallisation entre de petites lames de roches. Les fragments, violemment écartés, sont séparés de la masse principale, et au dégel, lorsque l'eau figée qui les unissait encore s'est liquéfiée, tous les fragments se détachent et tombent.

Si la roche est calcaire, ou argilleuse, ou

enfin qu'elle puisse s'imprégner d'eau jusqu'à une certaine profondeur, on voit paraître à sa surface de l'eau congelée en aiguilles soyeuses, tout à fait semblable à celle qui naît sur les terrains humides et dont nous avons déjà parlé. Ces masses fibreuses enlèvent avec elles des écailles de roche, qui tombent par la suite, ainsi que toute la croûte que le liquide a pénétrée. Si le rocher sur lequel l'eau agit est schisteux, il est promptement réduit en petits fragments. On se fait difficilement une

¹ GÉRAND, *Sur l'Histoire physique de la vallée de la Somme*, p. 30 et suiv., et *Annales des Mines*.

idée de la puissance de destruction que possède l'eau dans cette circonstance. Elle agit avec une force immense, et détache souvent des blocs énormes qui roulent avec fracas dans les hautes vallées des montagnes, entraînant avec eux de nombreux débris, et formant ainsi de véritables avalanches de pierres. D'autres fois de grosses masses sont simplement fendues et séparées en deux parties qui peuvent rester à côté l'une de l'autre. On remarque assez souvent des fentes de ce genre dans de grosses boules de granit, et ce qui fait présager que ces boules ont été fendues par la gelée, c'est que la fente de séparation est ordinairement tournée par en haut. S'il existe des fentes sur le côté, elles ne peuvent se remplir d'eau, et par conséquent contribuer à briser le bloc en plusieurs fragments¹.

Les crêtes élevées de toutes les montagnes sont continuellement attaquées par ce mode d'érosion, qui devient aussi très-fréquent et très-actif dans les régions polaires. Ainsi M. Scoresby rapporte que, dans un de ses voyages au Spitzberg, il gravit avec des peines infinies une montagne de 5,000 pieds, parce que ses flancs, depuis la base jusqu'au sommet, étaient couverts de petites pierres parmi lesquelles on en aurait difficilement trouvé une qui pesât seulement une livre. M. Scoresby était trop bon observateur pour ne pas s'apercevoir que cet état de chose était dû à la gelée, d'autant plus que toutes les montagnes du Spitzberg lui ont offert le même genre de disgregation, qui est, du reste, favorisé par leur structure schisteuse et par la présence des nombreuses veines calcaires qui les traversent.

La glace qui se forme au fond des rivières agit à peu près comme celle qui cristallise dans les fissures des roches, mais ses effets sont cependant moins intenses et bien moins fréquents.

Celle qui couvre la surface des lacs et des rivières n'exerce aucune action remarquable quand elle se forme; mais les débâcles, sur les grandes rivières, deviennent encore une cause de destruction pour leurs rives. C'est un spec-

tacle à la fois imposant et terrible que d'assister à la débâcle d'un grand fleuve du nord. Un bruit sourd et lointain se fait entendre, et bientôt de violentes détonations annoncent l'approche des glaçons et la rupture de la couche de glace. Celle-ci s'étoile avec des craquements épouvantables; de longues fissures sillonnent sa surface, tantôt droites, tantôt ondulées, le plus souvent brusquement fléchies sous des angles divers, comme si la glace variait en épaisseur et en solidité. De larges tables glacées avancent en se choquant, et le flot qui les porte, appuyant de tout son poids, brise avec elles les nappes de glace qui sont encore juxta-posées. Tout alors se confond et ressemble à un immense glacier qui avance avec vitesse. Rien ne résiste à ses flots armés de glaces coupantes et d'énormes masses qui frappent ses rives et détruisent tout ce qu'ils y rencontrent. Les rochers eux-mêmes sont parfois entraînés, et des troncs d'arbres flottants ou enchassés dans une masse transparente, descendent jusqu'à la mer, où l'eau reprend sa fluidité et ses caractères ordinaires.

Les glaciers qui descendent des hautes montagnes possèdent aussi une assez grande puissance de destruction. Comprimés par les couches supérieures, ils exercent une pression assez forte sur les parois des gorges et des vallées. Ils en usent et polissent les rochers, comme le feraient des cours d'eau animés d'une grande vitesse; ils rencontrent eux-mêmes sur leur route des fragments très-volumineux; ils reçoivent ensuite un grand nombre d'avalanches qui amènent à leur surface une grande quantité de débris, et semblables à des chemins qui marchent, ils conduisent lentement au bas de la vallée et l'eau qui s'est solidifiée sur le sommet, et les fragments détachés qui en descendent. Arrivés au bout de leur trajet, les glaciers fondent et abandonnent tous ces débris qui restent longtemps enchassés par la glace. Il en résulte les moraines, vastes collections de roches de toute espèce, que les glaciers amènent des hautes régions où souvent nous ne pouvons pas pénétrer. Plusieurs circonstances déterminent la progression ou le retrait de l'extrémité du glacier. Dans le premier cas, il pousse devant lui la moraine qu'il fait avancer comme le flotteur d'un thermomètre à maxima; et dans le se-

¹ Je ne veux pas dire que tous les blocs fendus et restés sur place aient été brisés par cette cause. Je suis loin d'adopter les idées exclusives, mais je pense que telle est l'origine de plusieurs fractures dans les grosses masses de rochers.

cond, il la laisse à la plus grande distance qu'il ait pu atteindre, marquant ainsi la limite extrême de ses excursions.

Tout avance avec le glacier, et les blocs qui sont sur ses bords, et ceux qui sont à sa surface, et les crevasses dont il est parsemé. Les corps étrangers que l'on y abandonne descendent avec lui et reparaissent tôt ou tard à son extrémité. Une échelle, que le célèbre de Saussure avait laissée à la partie supérieure d'un glacier quand il fit sa première ascension au col du Géant, fut retrouvée dernièrement dans la mer de glace, presque vis-à-vis l'aiguille du Moine. Elle avait avancé de trois lieues depuis l'année 1787 *. Plusieurs glaciers avançaient bien moins vite que celui-ci.

Si, à l'extrémité d'une vallée où descend un glacier, se trouve une autre vallée plus profonde ou un précipice, d'énormes masses

de glaces et de roches se détachent et tombent avec fracas, formant ainsi des amas très-considérables de fragments hétérogènes, qui s'accumulent depuis des siècles.

Dans le nord, où les glaciers viennent souvent se jeter directement dans la mer, ils conduisent avec eux une partie de leurs moraines, et donnent naissance à ces montagnes de glace qui flottent dans l'Océan et que les courants conduisent lentement au midi. On voit quelquefois sur ces masses glacées de gros fragments de rochers, de la terre et même des végétaux, qui s'éloignent sur ces masses flottantes des lieux de leur origine, puis les glaces se fondent, et ces blocs, tout à fait étrangers aux points où ils s'arrêteront, vont, à d'immenses profondeurs, pénétrer de nouveaux terrains et s'identifier à de nouveaux dépôts.

CHAPITRE TREIZIÈME.

DU DÉPOT DES BLOCS ERRATIQUES.

On donne le nom de *blocs erratiques* à de gros fragments anguleux de roches étrangères au lieu où on les trouve et dont le véhicule a disparu *. Il ne faut pas confondre ces masses de rochers avec celles que charrient les rivières et dont les angles sont généralement plus arrondis.

On trouve des blocs erratiques de toutes les dimensions; quelques-uns ont plusieurs toises cubes, mais il y en a de beaucoup plus petits, qu'il faut prendre garde de confondre avec ceux qui sont le résultat du transport journalier des cours d'eau. Quand ces blocs sont d'un petit volume, on ne peut savoir s'ils appartiennent réellement à ceux qui nous occupent, qu'en les comparant à de plus gros qui appartiennent évidemment à ce groupe,

et qui se trouvent dans les mêmes localités. Un grand nombre de roches composent ces fragments : ce sont des granites, des gneiss, des porphyres, des calcaires, mais en général des roches non stratifiées, quoique cependant on en ait observé contenant des fossiles.

Ces blocs sont anguleux quand ils sont gros; on en voit même dont les arêtes sont très-vives. Quand ils sont peu volumineux, les angles s'émoussent, et l'on en trouve qui sont presque arrondis.

Rarement ils sont recouverts, mais quelquefois on les rencontre enchâssés dans le sable ou les graviers. Le plus ordinairement, ils gisent à la surface du sol où ils sont simplement posés ou un peu enfoncés.

On les trouve à toutes les hauteurs. Ainsi, ils sont très-élevés dans les Alpes et le Jura; ils sont presque au niveau des mers dans le nord de l'Europe. On remarque cependant

* *Philosophie. Magnésie*, 1831, cité par LARÈCHE.

* Bocsi, *Agenda de Géologie*, t. II, p. 94.

que ces énormes masses sont rarement disséminées dans les plaines. Elles se sont arrêtées de préférence sur le versant des montagnes et des collines.

Quelquefois des masses appartenant à des roches très-différentes se trouvent mélangées dans un même bassin ou sur un même versant. Le plus souvent pourlant, les espèces sont comme classées, et les blocs analogues forment des groupes séparés. On les voit disposés en longues traînées affectant des directions assez constantes, ou bien formant des courbes et même des ellipses. Ils occupent souvent des pentes opposées à de grandes vallées, ou le revers de certaines chaînes de montagnes.

On a beaucoup cherché à connaître le point de départ de ces blocs, et pour cela on a suivi leur traînée avec la plus grande persévérance. On est parvenu de cette manière à trouver le point de départ de plusieurs d'entre eux, et à reconnaître à peu près la route qu'ils ont suivie. Il en est d'autres dont l'origine est extrêmement problématique.

Ces blocs sont un phénomène assez commun sur la terre; et presque toutes les contrées qui ont été bien étudiées par les géologues en ont offert des traces.

On en rencontre un grand nombre au pied des Alpes, sur les pentes du Jura qui font face aux grandes vallées transversales, qui descendent de ces hautes montagnes. De Saussure les a fréquemment signalés. Ce phénomène n'est cependant pas général dans les Alpes. Il est restreint, sur le pied méridional de cette chaîne, entre le Piémont et le Bergamasque, et sur le versant nord, entre le Dauphiné et l'Antriche. L'intensité du charrissage semble diminuer depuis un point central, formé par les bassins du Léman, de l'Aar et de la Reuss. Dans les Alpes orientales et les Carpathes occidentales, s'il y a quelques blocs, ils sont infiniment plus petits et isolés; ils ne sont plus réunis en grandes traînées. M. de Buch a observé que les blocs qui sont descendus des Alpes du Vslais, et qui existent sur le Jura, aux environs d'Yverdon, sont disposés devant chaque vallée à des hauteurs qui vont en décroissant de part et d'autre de la direction centrale de la vallée, de manière à former une zone dont le point culminant

fait face au centre de l'embouchure du Valais¹.

Le nord de l'Europe offre un grand nombre de ces masses problématiques. Depuis longtemps, on en avait indiqué en Suède, et M. Brongniart a eu occasion de les étudier dans un de ses voyages. Tout porte à croire que ces blocs viennent du nord; car on a remarqué que tous les débris qui appartiennent au terrain de transport, sont disposés par lignes qui se croisent quelquefois, mais qui ont une direction générale du nord au sud². Le comte Razoumowski et Engelspach ont observé, entre St.-Petersbourg et Moscou, des séries parallèles de ces mêmes blocs; elles étaient dirigées du nord-est au sud-ouest. Ces géologues ont reconnu, en les examinant, des roches qui proviennent évidemment de la péninsule scandinave, malgré la séparation que forme aujourd'hui la méditerranée Baltique. L'Allemagne présente aussi, en plusieurs lieux, des blocs qui ont la même origine que ceux de la Russie.

L'Angleterre, qui a été si bien étudiée sous le rapport géologique, a offert aussi ses masses errantes. D'abord, le docteur Hibbert a remarqué aux îles Setbland d'énormes roches qu'un choc venant du nord, a reculées à environ une mille de leur point d'origine. Dans une autre de ces îles, à Papa-Stour, il a rencontré des fragments qui proviennent de *Hillwich-Neas*, et qui doivent avoir franchi une distance de 12 milles (environ 4 lieues). Entre la Tamise et la Tweed, on a découvert des blocs erratiques dont on ne peut trouver les analogues qu'en Norvège.

L'Amérique du nord offre aussi des traces nombreuses d'un grand transport dont les matériaux sont rangés aussi dans une direction qui indique une violente impulsion du nord au sud. On cite même, dans les États-Unis, des sillons tracés sur les roches, et que l'on considère comme produits par le frottement de grosses masses anguleuses, violemment transportées. Des traces semblables ont été observées dans le nord de l'Écosse par sir James Hall³, qui, en considérant la direc-

¹ *Annales de Chimie et de Physique*, t. VII, p. 17.

² ALEX. BRONGNIART, *Annales des Sciences naturelles*, t. XIV, p. 15.

³ *Trans. Royal Soc. Edinburg.*

tion de ces sillons sur des couches solides, en a conclu qu'àuprès d'Édimbourg le courant se dirigeait à l'ouest. L'Amérique méridionale est couverte, sur certains points, de ces masses problématiques, et il serait bien curieux de rechercher si elles sont le résultat d'une grande action polaire analogue à celle qui se montre dans toute la partie nord de l'hémisphère boréal. Dans son intéressant Voyage au Chili, M. Gay a remarqué, dans l'Hiacenda de Canquenes, que les vallons de ce canton sont profonds, à parois escarpées et composées uniquement de basaltes et de roches analogues, les seules qui soient à 20 lieues à la ronde. On ne connaît dans ces vallons, ni à leur origine, ni dans cette circonscription, aucun bane, aucun pic, aucune masse de granit en place, et cependant ces vallons sont encombrés jusqu'au tiers de leur hauteur et comme obstrués par une accumulation immense de galets et de blocs de granit. « Ce phénomène, signalé depuis quelques années dans toute l'Europe, dit M. Brongniart, rapporteur à l'Institut, des observations géologiques de M. Gay, et notamment sur les bords de la Baltique, est encore plus inexplicable ici, où il se présente sur un terrain d'une nature tout à fait différente de ceux où il s'est montré dans l'Europe septentrionale, et dans des vallons de 10 à 12 lieues d'étendue, fermés de tous côtés par des collines escarpées, que les cailloux et blocs ne semblent avoir pu surmonter. »

On voit par ce qui précède, que le phénomène des blocs erratiques tient évidemment à des forces de transport très-considérables, et dont le premier développement est peut-être bien éloigné de l'époque actuelle. Quand on songe que les blocs qui couvrent le sol de la Russie y sont arrivés malgré l'obstacle de la mer Baltique; quand on réfléchit que ceux qui sont éparés sur l'Angleterre, viennent de la Norvège, malgré l'étendue de mer qui sépare ces contrées; lorsque enfin on fait attention que ceux qui sont descendus des Alpes, ont remonté en grande partie les pentes du Jura, on reste très-embarrassé d'expliquer, non pas l'origine des masses, puisqu'on arrive graduellement à leur point de départ, mais le mode de transport qu'elles ont éprouvé.

En considérant la direction générale qu'ont

prise la plupart de ces blocs; en examinant l'énorme masse de cailloux roulés de toutes les espèces, qui couvrent les terres du nord dans les deux continents, et qui plusieurs fois même ont rempli les fissures du sol, on ne peut nier qu'une cause puissante n'ait soulevé les flots, qui aient déposé sur leur passage les débris qu'ils apportaient et ceux qu'ils enlevaient à chaque instant. Nous verrons par la suite que des secousses violentes ont très-vraisemblablement pu produire cet effet.

D'un autre côté, comment supposer que des masses de roches de plusieurs toises cubes, et par conséquent extrêmement pesantes, aient pu être soulevées par les flots, et chassées à d'aussi grandes distances? Quelques géologues répondent, il est vrai, à cette objection, que ces masses ont été transportées sur des glaçons que les courants du nord entraînaient vers le sud, comme ils le font encore actuellement, et le fait est que, de nos jours, des blocs erratiques doivent tomber à chaque instant près des côtes de l'Islande et du Groënland, où, chaque année, les montagnes de glace les charrient; mais si ce mode de transport est réellement celui qui a amené les blocs, pourquoi cette constance de direction sous laquelle ils se présentent en lignes parallèles? Les courants auraient-ils été capables de les déposer suivant ces lignes? En admettant même cette invraisemblable hypothèse, les blocs, en tombant au fond des mers, auraient dû glisser et s'accumuler dans les lieux les plus bas, tandis qu'ils sont presque toujours situés sur des plans inclinés, comme on le voit dans le Jura et comme le comte de Razoumowski l'a remarqué aussi en Russie, où ils semblent avoir été arrêtés contre des plans inclinés sans lesquels ils auraient continué leur course. Il faudrait alors supposer que les glaces, fondant peu à peu, ont fini par être entraînées par les masses de pierres qu'elles charriaient, et que, suspendues entre deux eaux, elles ont été arrêtées par les éminences qui étaient au fond du bassin. Resterait encore, pour beaucoup de géologues, de graves difficultés pour changer ce fond de mer en continents.

D'autres ont admis que le transport des blocs avait eu lieu avant le creusement des

vallées intercalées et par de simples courants d'eau. Ainsi ceux de la Scandinavie seraient descendus en Russie, avant le creusement de la profonde vallée que la Baltique emplit de ses eaux. Ceux du Jura se seraient fixés sur ces pentes avant l'érosion de la grande vallée qui le sépare des Alpes. (Fig. XIV.)

Cependant le transport de ces derniers semble plus facile à déterminer que celui des masses séparées de leur point de départ par des mers étendues. On a cru d'abord pouvoir donner une explication satisfaisante du déplacement de ces blocs, en admettant de grands lacs dans les hautes vallées. Tout à coup les digues auraient été rompues, et les eaux descendant avec impétuosité, auraient charrié les plus gros blocs à l'aide d'une pente rapide et une forte puissance d'impulsion. M. de Buch, sans admettre précisément de semblables débâcles, regardait pourtant ces blocs comme entraînés par de grands courants d'eau. Il mettait surtout en première ligne la densité de l'eau produite par les matières terreuses qu'elle tenait en suspension, et qui la rendaient capable de vaincre suffisamment la pesanteur des blocs et de les empêcher de tomber ailleurs que sur les digues qu'elle rencontrait dans son cours. Ainsi s'explique naturellement la disposition en demi-cercle que nous avons déjà décrite, car les masses ont dû se déposer à des hauteurs plus ou moins grandes, suivant qu'elles se trouvaient plus ou moins dans le centre du courant. Nous avons vu plus haut, en parlant de quelques éboulements produits par l'eau de source, comment les courants de boue transportent facilement les plus gros rochers. Tel a été, selon toute apparence, le mode de transport des blocs alpins, et cette opinion devient très-admissible si l'on suppose, comme le pense M. Élie de Beaumont, qu'une violente secousse imprimée à la chaîne des Alpes, lorsqu'une partie de ses montagnes existait déjà, a fondu tout à coup

leurs glaciers et a produit ces torrents d'eau et de fange, qui avaient une si grande force de transport. Ces blocs seraient donc ceux qui gisaient sur les flancs de ces montagnes, comme on en trouve presque partout, détachés par les pluies, ou plutôt par une disgrégation de la roche dont les parties les plus dures restent saillantes, et que ces grands courants diluviens auraient entraînés avec la moraine des glaciers.

M. de Carpentier a émis aussi une idée très-ingénieuse sur l'origine des blocs alpins. Il avait reconnu, avec raison, leur grande analogie avec ceux que charrient les glaces et qui marchent en avant des glaciers. Il avait supposé que ces blocs erratiques étaient de grandes moraines; que de puissants glaciers, descendant des Alpes et appuyant leurs bases sur les pentes du Jura, les y avait appliqués en éventail, et les avait abandonnés en se retirant. Ce savant explique la présence de ces mers de glaces, en admettant que les Alpes avaient été primitivement soulevées bien au-dessus de leur élévation actuelle. Les glaciers, qui alors étaient en rapport avec cette énorme saillie, s'étendirent jusqu'aux points où les blocs sont restés comme les flotteurs d'un grand thermomètre, pour indiquer la plus grande extension de sa colonne. Les Alpes, mal assises, se seraient peu à peu affaissées, pour arriver à l'état de stabilité qu'elles offrent aujourd'hui, et les glaciers se seraient graduellement reculés jusqu'aux limites qu'ils occupent à présent.

Quelle que soit la cause de ce grand phénomène, il semble lié, comme nous le verrons par la suite, au transport de vastes alluvions, qui coïncident avec l'anéantissement de quelques grands mammifères dont les dépouilles sont maintenant les seuls témoins de leur apparition sur la terre.

¹ *Annales des Mines*, 3^e série, t. VIII, p. 234.

CHAPITRE QUATORZIÈME.

DES ACTIONS CHIMIQUES.

En nous occupant des forces agissantes mécaniques, nous avons isolé autant que nous avons pu les actions spéciales produites par chaque cause séparée, mais, en résultat, nous avons vu que toutes ces forces se réunissaient en une action de transport, ou qu'elles consistaient à enlever des matériaux d'un point pour les déposer dans un autre. Nous aurions pu par conséquent les partager en *forces destructrices* et en *forces créatrices*.

Nous adopterons cette division pour les actions chimiques, que nous ne pourrions étudier isolément à cause des nombreux rapports qu'elles ont entre elles. Il y a aussi des actions chimiques, qui s'opèrent à l'aide de grandes variations de température, et qui dépendent entièrement des forces intérieures de notre planète. Nous n'en parlerons qu'en traitant de ces forces.

ACTIONS CHIMIQUES DESTRUCTRICES.

L'air et l'eau pure ou chargée de différentes matières sont de grands agents de destruction.

L'air agit principalement par l'oxygène qu'il contient, et qui est absorbé par un grand nombre de matières. Il forme, en pénétrant dans les roches, des composés nouveaux, et changeant leur structure interne, il les rend très-faciles à disgréger.

L'eau agit chimiquement par sa grande vertu dissolvante, à l'état de vapeur, de brouillard, de neige, de pluie ou de courant; elle pénètre et dissout un grand nombre de corps qu'elle entraîne au loin pour former des combinaisons nouvelles.

Elle a peut-être plus d'action sous la forme de vapeur ou à l'état de dissolution dans l'air

atmosphérique; car c'est à l'air humide qu'il faut attribuer les plus nombreuses et peut-être les plus puissantes réactions chimiques.

C'est presque toujours, comme nous le disions tout à l'heure, par une plus forte oxidation du fer, que la décomposition commence; aussi voit-on des sulfures exposés à l'air, qui se décomposent avec rapidité et se transforment en sulfates. Les roches schisteuses et alunifères se disgrégent avec la plus grande facilité quand elles sont exposées quelque temps à l'humidité.

Les pluies agissent plus promptement en lessivant les terrains et entraînant les sels, comme cela a lieu dans différentes parties de l'Afrique et de l'Asie, où le sol se couvre souvent d'efflorescences salines, et comme on le remarque aussi dans nos contrées pour des roches alunifères ou magnésifères. Si la pluie est peu abondante, elle dissout seulement une petite portion de la matière saline, et il se produit ainsi des croûtes à structure concrétionnée.

Les eaux souterraines dissolvent presque toujours une petite portion des matières qu'elles traversent; c'est ainsi qu'on voit des cavités qui ont évidemment été creusées par le passage longtemps continué des eaux. On remarque surtout ces cavités dans les terrains calcaires, et l'on suppose même qu'une partie des cavernes ont été, sinon creusées, au moins agrandies de cette manière. On conçoit que des masses entières de sel gemme contenues dans des terrains de nature diverse aient pu être promptement dissoutes par l'eau et aient laissé un vide proportionné à leur étendue. Le liquide a pu agir de même, mais plus lentement, sur des masses de gypse situées dans la même position; il a pu même dissoudre à la longue

le ciment de grès calcaire, et ajoutant sa force mécanique à cette action, entraîner des couches partielles de terrain ou agrandir au moins des cavités souterraines.

Si maintenant nous ajoutons au pouvoir dissolvant de l'eau quelques matières salines en dissolution, comme des alcalis, des carbonates alcalins, et surtout l'acide carbonique, nous la trouverons capable de bien plus grands résultats. Ce sont sans doute des eaux ainsi chargées d'acide qui ont ouvert une partie de ces longues galeries où l'on trouve maintenant le limon ossifère. Profitant des fentes ou des fractures préexistantes, elles ont rapidement dissous les parois et élargi les couloirs. Rien de plus facile, dans cette hypothèse, que de se rendre raison de ces élargissements successifs, que présentent plusieurs de ces longs corridors souterrains. Il suffit d'admettre que la roche qui n'était pas homogène, était plus tendre et plus attaquable dans ces points qui sont devenus des salles spacieuses.

Cette même eau, chargée de carbonates alcalins, a pu, dans diverses circonstances, attaquer des roches bien plus dures que des calcaires, et même creuser des roches cristallisées. On voit ainsi plusieurs bassins qui ont été dissous par l'action d'eaux minérales de cette nature.

M. Fournet, qui a recueilli sur l'altération chimique des roches, des observations si savantes et présentées avec une clarté si remarquable, cite un fait qui vient confirmer la puissance d'action que les eaux peuvent acquérir dans ces circonstances. « Dans un travail de recherche poussé en 1833 sur une veine de plomb sulfuré, dans le filon du Pré à Pontigbaud, les mineurs furent arrêtés par un jet d'eau extrêmement violent, auquel un coup de poudre venait de donner issue. Il était aisé de reconnaître au roulement qui l'accompagnait, que cette eau était chargée, comme de coutume, d'acide carbonique condensé, et d'ailleurs il fut impossible de pénétrer de quelques jours dans la galerie à cause de l'irruption du gaz. L'eau qui sortit dans le premier moment était surchargée d'une matière argileuse blanche qu'elle tenait en suspension et qui lui donnait l'apparence d'un lait épais. M. Fournet se borna à cette remarque, attribuant alors ce fait à l'argile des salbandes qui

aurait été délayée. Dès qu'il fut possible de rentrer dans les travaux, M. Fournet vit bientôt que le jet d'eau ne continuait plus que par intermittences saccadées, signe de l'affaiblissement dans la tension du gaz, et que son écoulement avait en lieu à travers une masse de baryte très-cavernense. Frappé de cette singulière structure, M. Fournet en fit détacher des blocs avec soin, et reconnut qu'ils étaient altérés sur une certaine épaisseur, et même cariés à tel point, que la forme cristalline de la baryte sulfatée avait été mise à nu comme dans le moiré métallique, mais plus profondément, en sorte que le phénomène était du même ordre que celui signalé par Daniell, qui mit en évidence, à l'aide de divers dissolvants, la texture de divers corps compactes en apparence. L'action que les carbonates alcalins exercent sur le sulfate de baryte permet d'expliquer ce fait singulier. »

« Un second accident très-remarquable, » continue M. Fournet, que m'offrirent ces » échantillons, fut l'action dissolvante que » ces mêmes eaux avaient exercée sur des » fragments de stéatiste emporté dans le sulfate de baryte; ils étaient en partie dés- » agrégés, en partie cariés; quelquefois il n'en » restait plus que les grains quartzeux et les » lamelles talqueuses; enfin, d'autres ballots » taient comme des noyaux libres dans leurs » capsules, parce que l'érosion s'était, comme » de coutume, exercée sur les surfaces *. »

Il se passe ainsi une foule de petites actions destructives sur des substances minérales et qui ont la plus grande analogie avec celles que nous venons de rapporter; mais il est une altération bien plus générale qui va nous occuper un instant; c'est la décomposition lente et graduelle des roches cristallisées.

Les granites, les gneiss, les micaschistes, les trachytes, les basaltes et presque toutes les roches qui ont la même origine que celles-ci, se désagrègent à la surface et se transforment en boules énormes ou très-petites. C'est à cette action, qui paraît s'être exercée de tout temps, que sont dus en partie les terrains de sédiment; car ici la décomposition est éhi-

* FOURNET, Mémoire sur la décomposition des minerais d'origine ignée, etc. *Annales de Chimie et de Physique*, mars 1854.

inique et le dépôt de nouveaux terrains est une action toute mécanique.

Cette décomposition des roches attaque plus particulièrement le granit et le basalte, quoique aucune espèce n'en soit exempte. Elle se manifeste principalement aux points de jonction des terrains, et semble favorisée par le voisinage de certaines causes locales, comme la présence de cônes volcaniques, etc. La nature de la roche a aussi une grande influence sur l'intensité de cette disgrégation. On voit des roches qui résistent indéfiniment et d'autres qui cèdent après quelques mois d'exposition à l'air.

Il y a des contrées tout entières qui sont couvertes de sables provenant de la destruction des granits. Cet effet se manifeste surtout dans la Bourgogne, où M. de Bonnard l'a très-bien observé.

« Assez souvent, dit-il, à la surface du sol granitique, la roche se montre entièrement désagrégée et à l'état sableux ; on la désigne alors sous le nom d'*arène*, et on l'exploite pour l'employer à tous les usages du sable. Dans un grand nombre de localités, on ne sait si l'on doit regarder cette arène comme un granit altéré par les influences atmosphériques, ou comme une roche vraiment arénacée ; mais en plusieurs endroits, on peut observer des passages du granit à l'arène ¹. »

L'Auvergne et la Haute-Loire présentent les mêmes caractères, au point qu'en certains lieux la disgrégation de cette roche a donné naissance à des couches d'argiles fortement colorées, et reposant immédiatement sur les granits auxquels elles passent par nuances insensibles. Si les roches qui se décomposent sont situées sur des pentes considérables, il arrive souvent qu'une altération plus profonde d'un côté que d'un autre en change le centre de gravité, et l'éboulement a lieu. Les hautes chaînes, composées de roches cristallisées, offrent fréquemment des exemples de ces éboulements. De Saussure en fait souvent la remarque.

« Tous ceux, dit-il, qui ont observé les montagnes granitiques ou schisteuses,

¹ DE BONNARD, *Notice géognostique sur quelques parties de la Bourgogne*, p. 11.

ont remarqué qu'elles étaient dans une continuelle dégradation, mais au col du Géant (dans les Alpes), cette vérité s'annonce avec une fréquence et un fracas qui l'inculque à l'esprit avec la plus grande force. Je n'exagère pas, quand je dirai que nous ne passions pas une heure sans voir ou entendre quelque avalanche de roches qui se précipitait avec le bruit du tonnerre, soit des flancs du mont Blanc, soit de l'aiguille marbrée, soit de l'arête où nous étions. »

Les érosions sont bien pour quelque chose dans les éboulements dont parle de Saussure, mais la décomposition des roches en est la principale cause.

Dans d'autres endroits, le même auteur cite des granits indestructibles dont les arêtes ont conservé toute leur vivacité. En effet, si l'on observe avec soin les granits, on voit qu'ils sont souvent composés de masses arrondies et presque inattaquables, enchâssées dans un autre granit qui semble faire corps avec le premier, mais qui se décompose avec la plus grande facilité, en sorte qu'il résulte d'une longue altération des amas de boules quelquefois colossales qui restent amoncelées.

Cette disposition paraît générale ; on la voit dans plusieurs parties de la France, en Espagne, en Silésie, en Franconie, etc. ; on la retrouve en Amérique dans plusieurs endroits, et M. de Humboldt cite principalement les blocs qu'il observa aux cataractes de Maypures, et ceux qu'il rencontra sur les bords de l'Orénoque, près de la caverne sépulcrale d'Atarupe.

« Une arête étroite nous conduisit vers une montagne voisine, dont le sommet, arrondi, supportait d'énormes blocs de granit. Ces masses ont plus de 40 à 50 pieds de diamètre, et présentent une forme si parfaitement sphérique, que, paraissant ne toucher au sol que par un petit nombre de points, on doit supposer qu'à la moindre secousse d'un tremblement de terre, elles rouleraient dans l'abîme. Je ne me souviens pas d'avoir vu ailleurs un phénomène semblable, au milieu des décompositions qu'offrent les terrains granitiques. Si les boules reposaient sur une roche de nature différente, comme c'est le cas des blocs du Jura, on pourrait supposer qu'elles ont été arrondies

» par l'action des eaux, ou lancées par la
 » force d'un fluide élastique; mais leur posi-
 » tion sur le sommet d'une colline également
 » granitique, rend plus probable qu'elles doi-
 » vent leur origine à une décomposition pro-
 » gressive de la roche¹. »

Si quelques-unes de ces masses de granit ne semblent plus susceptibles d'altérations, il en est d'autres qui diminuent de volume, jusqu'à ce qu'elles soient entièrement anéanties. Telles sont celles que M. Leplay a observées en Espagne.

« Les collines de Malpartida (fig. XV) sont recouvertes d'une prodigieuse quantité de blocs arrondis, les uns posés simplement sur le sable granitique, les autres enfouis en partie dans le sol avec lequel ils semblent n'avoir aucune adhérence. Ce phénomène a établi dans la contrée l'opinion singulière que ces blocs, dont quelques-uns ont une grosseur énorme, ont été ainsi placés par la main de l'homme. Cette disposition du granit est un point tellement saillant dans la physionomie générale de la contrée; quo le géologue, moins porté que l'observateur ordinaire à expliquer ces sortes de phénomènes par une pareille intervention, pourrait au premier aperçu y voir le résultat d'un transport violent par l'action des eaux; dans cette manière de voir, le sable granitique et les blocs qu'il supporte seraient regardés comme un terrain de transport.

« Dans un examen plus attentif de l'état des choses, on reconnait bientôt, par de nombreux passages, les moyens par lesquels la nature a opéré : il est aisé de voir que la surface primitive du sol était pour ainsi dire hérissée d'aspérités granitiques plus ou moins fissurées, et en général adhérentes à la masse inférieure; l'action continuelle exercée par les agents atmosphériques sur la surface de ces roches, a seule produit le changement qui existe aujourd'hui. Il est en effet dans la nature de cette action d'attaquer principalement les arêtes vives, les pointes les plus saillantes, et naturellement aussi les parties qui par leur composition minéralogique présentent le moins de résistance. Il résulte de là

que la désagrégation doit avoir lieu par couches concentriques, d'abord parallèles à la surface primitive, et qui, perdant peu à peu les formes anguleuses, tendent constamment à devenir parallèles à la surface des noyaux de plus grande résistance². »

Après les granits, ce sont les basaltes qui affectent le plus souvent une forme globuleuse, et qui se délitent le plus facilement par couches concentriques. Toutes les contrées volcaniques en offrent des exemples. Ces boules sont formées par des couches superposées, et varient depuis la grosseur d'un pois jusqu'à plusieurs centaines de pieds. On voit en Auvergne, près de Hames-l'Église, une boule qui a 5 mètres de diamètre; mais l'exemple le plus curieux est celui que M. Raynaud a observé sur le bord du Rhin, près de Bonn. La montagne basaltique de Langenberg (fig. XVI) n'est elle-même qu'un fragment d'une boule immense de basalte très-dur et résistant qui se délite concentriquement par rapport à un noyau globuleux que l'on voit dans une carrière située près d'Ober-Cassel. La carrière offre ce noyau avec toutes ses enveloppes, sur une hauteur du plus de 100 pieds, et au-dessus et au-dessous, dans la montagne, et latéralement, à de grandes distances, on voit les strates du basalte présenter la même connexion autour d'un centre commun. Sa courbe n'est pas celle d'une sphère mais d'un ellipsoïde aplati³.

Le même auteur cite un autre exemple de décomposition du basalte, qui offre aussi beaucoup d'intérêt; c'est la description d'une grotte située aux environs de Bertrich.

« Le basalte forme au milieu du Thonschiefer des filons de 30 à 40 pieds d'épaisseur; il est compacte, non celluleux. Il se présente dans sa nature interne aucune particularité saillante; mais la manière singulière dont il a été décomposé et modifié dans sa forme extérieure, mérite d'attirer l'attention. Près de la grande cascade du Jardin, on trouve une grotte (fig. XVII) nommée *Kasegrotte* (la grotte des fromages), qui est fort célèbre dans le pays par la bizarrerie de sa forme et par la

¹ HUMBOLDT, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. VIII, p. 262.

² LEPLAY, *Annales des Mines*, ch. VI, p. 339.

³ JEAN REYNAUD, sur les Formations volcaniques des bords du Rhin, *Annales des Mines*, 5^e série, t. II, p. 372.

légende qui lui sert d'histoire. Cette grotte est taillée, ou plutôt détachée à bras d'homme dans l'intérieur d'un filon de basalte, et s'ouvre, d'un côté, sur le torrent qui se précipite dans les rochers. Son intérieur consiste en une galerie bien alignée et bien régulière, formée de colonnes qui, au premier aspect, ont quelque analogie avec certaines colonnes torsées de l'architecture de la renaissance. Ces colonnes sont composées de boules de basalte de 0^m, 40 de diamètre, un peu aplaties et posées d'aplomb les unes au-dessus des autres. La ressemblance générale qui en résulte avec un magasin de fromages régulièrement entassés, a valu à la grotte le nom rustique dont on l'a décorée. Cette décomposition de basalte, en boules rapprochées de telle façon que leur axe de révolution est toujours vertical et toujours aligné avec ceux qui le précèdent et avec ceux qui le suivent dans la même rangée, est digne d'exciter la surprise. Au voisinage de la ville, on voit un autre filon de basalte, dont l'étude éclaircit en partie la singularité de celui-ci. On voit alors, en quelque sorte, deux périodes dans le travail de décomposition qui a produit ces piliers si remarquables. D'abord, le basalte affecte la forme de prismes triangulaires, ou plutôt quadrangulaires, et c'est ainsi que se présente la masse vue à distance; mais en approchant on aperçoit des fissures horizontales qui partagent tous ces prismes par portions à peu près égales. La décomposition de la roche se produit surtout au voisinage de ces fentes; la substance se désagrège, les angles s'émoussent, et la masse arrive à prendre une apparence qui se rapproche de celle de la Kasegrotte. Il paraît possible que le basalte, en ce dernier point, ait commencé de la même manière à se diviser en prismes verticaux, et que, plus tard, la décomposition se soit graduellement opérée autour des centres situés sur les axes. Il n'est peut-être pas sans intérêt de remarquer qu'à la Kasegrotte la partie supérieure du filon, placée au-dessus des eaux du torrent, ne présente rien de semblable dans sa décomposition et n'est pas même fissurée en prismes ¹.

¹ JEAN REYNAUD, sur les Formations volcaniques des bords du Rhin, *Annales des Mines*, 3^e série, t. II, p. 389.

Indépendamment de cette désagrégation en boules, les basaltes présentent souvent des altérations sur les angles des prismes, quand ils affectent ce genre de configuration. Les trachytes ont souvent aussi les angles des prismes émoussés, mais bien plus rarement que les basaltes. Ils offrent une structure de désagrégation globulense. Mais les amphibolites; si voisins des basaltes, prennent aussi la forme sphérique. M. d'Aubuisson en a vu un exemple assez singulier en Bretagne, à 3 ou 4 lieues au nord de Poullaouen; le sol y semble pavé de petites boules de roche à base d'amphibole, ayant 3 ou 4 pouces de diamètre. Un examen attentif lui a démontré qu'il marchait sur la roche en place, et que c'était la désagrégation qui, en pénétrant par les fissures, l'avait ainsi divisée et façonnée ².

Les phonolites, les obsidiennes, les roches les plus compactes en apparence sont toutes plus ou moins soumises à ce genre de décomposition; mais il ne faudrait pas croire que ces roches changent toujours de forme en se décomposant. On en voit qui sont altérées jusqu'au centre; et chez lesquelles aucun caractère de forme extérieure n'annonce la décomposition. Le fer spathique ou carbonaté est dans le même cas; il conserve sa forme et se change en fer hydraté.

Voyons maintenant comment s'opèrent ces singulières décompositions, et examinons d'abord la marche du phénomène. Nous suivrons dans cet examen le beau travail de M. Fournet sur la décomposition des roches et la formation du kaolin.

Si l'on observe, dit ce savant professeur, les grandes masses de granite non fissurées, depuis la surface du sol jusqu'à ce qu'on arrive, à l'aide de tranchées, aux parties intactes, on remarque les diverses zones suivantes :

1^o Zone supérieure, absolument semblable à une argile de couleur jaune ou rouge due à la formation de l'hydrate de peroxide de fer; quand on en détruit de grandes masses, elles donnent souvent lieu à des efflorescences salines qui prouvent que l'alcali contenu dans le feldspath et dans le mica a été mis en liberté.

² FOURNET, *Annales de chimie et de physique*, mars 1834, p. 234.

2° Zone moyenne, de couleur verte très-prononcée, provenant d'un degré intermédiaire d'oxydation de fer.

3° Zone inférieure, offrant tous les caractères d'un granite intact en apparence, mais se désagréant complètement par le froissement ou le choc du marteau. Une partie des cristaux de feldspath a conservé sa forme, et l'autre est tout à fait désagréée et opacifiée.

4° Enfin, en dessous, on trouve le granit solide et inaltéré.

Quoique entièrement décomposée, la roche extérieure montre encore la position respective du quartz et du mica qui se trouvent entrelacés, comme dans le granit non altéré.

Les basaltes, les phonolites et les trachytes offrent rarement le même mode de décomposition que les granites. Lorsque les roches volcaniques éprouvent la décomposition, on les voit se parsemer d'une multitude de petites taches grises plus ou moins rapprochées et rayonnantes, dont l'état terreux tranche vivement sur le fond compact du reste de la roche et empêche de les confondre avec des roches porphyroïdes. Après cette maculation, et même pendant qu'elle a lieu, l'altération se manifeste encore par d'autres indices. La masse se divise par une multitude de fissures dirigées ordinairement suivant trois plans rectangulaires qui déterminent une division cuboïde, ou plutôt aplanique, par l'émoussement des angles; l'exfoliation par conches concentriques survient également après, en vertu d'une sorte de gonflement. Finalement, les conches détachées des basaltes tombent dans un état pulvérulent si complet, que l'on conçoit seulement alors l'action facile que les agents chimiques naturels peuvent exercer sur des roches qui étaient d'abord si compactes et si cohérentes.

Le fer, dans toutes ces décompositions, atteint toujours un plus haut degré d'oxydation. La couleur grise de la masse terreuse, résultant d'une division extrême de la roche, qui possédait primitivement une couleur foncée, passe à une teinte jaune ou rouge si intense, que dans les pays où ce genre d'altération est commun, en Auvergne, par exemple, on distingue de loin les terres végétales laviques, dites fromentales, à cause de leur fertilité, de celles provenant de l'altération des schistes et

des gneiss, qui sont bien moins ferrugineuses et moins productives.

Il arrive aussi au granite, lorsqu'il présente une structure qui le divise d'abord en parallélipèdes plus ou moins volumineux, de se décomposer sur les angles et de s'altérer ensuite à la manière des basaltes. On remarque souvent des altérations de ce genre sur des granites employés dans des constructions.

Il semble bien difficile, dans l'état actuel de nos connaissances, d'expliquer cette tendance à la décomposition que nous présentent presque toutes les roches cristallisées. L'action de l'air et celle de l'eau sont des circonstances qui la favorisent évidemment. Il est bien probable que la température et la pression ont aussi une influence marquée sur ce changement d'état, mais tout cela n'explique pas la cause particulière de cette dégradation continue.

Toutes les roches qui se décomposent si facilement renferment du feldspath, et il paraît que c'est la décomposition de ce minéral qui occasionne l'exfoliation des parties qui le contiennent; la chose paraît du moins prouvée pour les granits qui se transforment en kaolin. Le feldspath renfermant de la potasse, on en a conclu que l'eau entraînait peu à peu cette matière, et que c'était la cause première de l'altération. Il est bien vrai que la potasse, la soude et les autres bases qui sont combinées à la silice dans le feldspath, peuvent se dissoudre dans l'eau, mais il est douteux que cette tendance à se dissoudre dans ce liquide puisse déterminer le commencement de la décomposition; car on l'observe non-seulement dans les roches, mais dans les produits que nous fabriquons. Ainsi, le verre antique que nous trouvons enfoui depuis longtemps, a presque toujours éprouvé un commencement d'altération à l'extérieur, et la lumière, partie décomposée et partie réfléchie, lui donne les couleurs de l'iris.

Il faut qu'indépendamment de l'action exercée par les agents extérieurs, il y ait dans certaines roches cristallisées une tendance particulière à la décomposition, tendance que l'on ne peut expliquer qu'en admettant une sorte de tension particulière dans leurs parties constitutives, lorsqu'elles se sont solidifiées. M. Fournet attribue cet état à des variations

survennes pendant le refroidissement, et le compare indirectement au phénomène de la trempe qui modifie si fortement l'état des métaux, ou de la recuite qui imprime aux verres et aux poteries des caractères tout à fait différents.

Il semblerait plus naturel d'admettre, comme Werner le supposait, que pendant la solidification des roches, il s'est établi un certain nombre de centres d'attraction autour desquels les parties constitutantes se sont disposées. Cette opinion rend parfaitement compte de la formation des boules de granit qui ne s'altèrent plus lorsque la décomposition a acquis une certaine profondeur, et explique aussi la présence de cette énorme boule de basalte décrite par M. Reynaud, tandis qu'il est bien difficile de concevoir autrement sa formation. Telle paraît être l'origine d'un grand nombre de blocs arrondis qui primitivement étaient empatés dans une roche semblable, qui s'est peu à peu décomposée et dont les eaux ont emporté les débris. Il faudrait se garder de considérer l'opinion de Werner comme pouvant s'appliquer à tous les cas de décomposition; car, dans un grand nombre de circonstances, le délitement des roches a lieu parallèlement aux surfaces quelle que soit la forme artificielle que le ciseau ait imprimée aux blocs. C'est ainsi qu'en Égypte, selon M. Rozière, des colonnes en granit de Siennese délitent en couches concentriques à leur axe. Il y a d'ailleurs des roches granitiques qui se délitent en entier une fois qu'elles sont sorties des carrières.

M. Fournet regarde aussi l'action de l'eau chargée d'acide carbonique comme ayant une grande puissance d'action et comme agissant encore à des profondeurs variables, dans la décomposition des roches feldspatiques et autres.

On remarque une grande différence dans le temps que mettent certaines roches à se décomposer; mais, en général, cette action est très-lente. Ainsi, M. Becquerel fait observer que la cathédrale de Limoges a été construite, il y a environ quatre siècles, avec un granit qui a dû être extrait des environs. Dans l'intérieur de cet édifice, l'altération de la roche est à peine sensible, surtout dans les parties qui n'ont pas été exposées à l'humidité;

mais au dehors, et principalement sur la face exposée aux vents qui amènent la pluie, la désagrégation est très-apparente, et offre une profondeur moyenne de 3 lignes et demie environ. Cette décomposition est, comme on le voit, extrêmement lente, mais enfin elle est sensible. M. Becquerel a remarqué, dans une carrière peu éloignée de la ville, que la croûte de granit décomposée avait environ 3 pieds, ou 720 lignes; en comparant ce nombre, et en supposant la marche de la décomposition égale à toutes les époques, cette carrière accuserait le long espace de 82,000 ans depuis la création du granit dans lequel elle est creusée¹. Le célèbre physicien, auquel nous empruntons ces lignes, observe très-bien lui-même que cette date doit être fautive, puisqu'on ne connaît pas la marche de la décomposition du granit en masse; mais ce calcul n'en offre pas moins un résultat fort curieux.

Nous ne savons pas quelle a dû être autrefois la puissance de ces actions chimiques et peut-être électriques qui altèrent aujourd'hui presque toutes les roches cristallisées. Cependant, si nous examinons la masse énorme des terrains de sédiment, l'abondance des conches de grès que l'on y rencontre, et si nous comparons les forces qui ont créé ces terrains à celles qui produisent aujourd'hui nos petits dépôts d'alluvion, nous resterons convaincus que la décomposition des roches cristallisées était bien plus grande autrefois que de nos jours, puisque d'immenses bassins sont remplis de leurs débris. Cette idée prendra plus de fondement, si nous supposons une chaleur plus grande, une plus grande masse de vapeurs dans l'atmosphère, et peut-être une pression atmosphérique plus considérable. Ces considérations nous conduiraient à admettre que plusieurs de nos chaînes de montagnes ne sont que les parties dures de masses plus élevées, des portions solides d'abord enchaînées dans des roches plus tendres, et maintenant dégagées comme nos blocs de granit, et comme ces roches quartzeuses que M. Leplay a reconnues en Espagne former le sommet des collines de l'Éstramadure.

¹ BECQUEREL, *Traité de l'électricité et du magnétisme*, t. 1, p. 526.

DES ACTIONS CHIMIQUES CRÉATRICES.

Il s'opère journellement dans le sein de la terre de nombreuses réactions chimiques ou électriques, que nous sommes loin de connaître. et il se forme ainsi des produits nouveaux extrêmement curieux à étudier. Presque toujours ce ne sont que de véritables transmutations qui ont lieu à de petites distances; mais, dans certains cas, la matière dissoute en un point, est transportée très-loin avant d'entrer dans de nouvelles combinaisons. Les circonstances qui concourent à ces créations d'origine récente, sont probablement les mêmes que celles qui ont présidé à des formations plus étendues; mais nous connaissons très-peu ce genre de phénomène. M. Becquerel a cependant jeté un grand jour sur ces réactions; ce savant a ouvert aux géologues une voie toute nouvelle, et bien intéressante à parcourir. Nous allons examiner successivement les créations ou réactions actuelles.

Simplex dépôts.

Les plus simples des créations chimiques consistent en quelques dépôts que forment les eaux qui ont dissous certaines matières. Ainsi l'on voit souvent des roches qui sont colorées au moins sur leurs fissures par des matières que les eaux avaient dissoutes et qu'elles ont ensuite entraînées dans ces masses. Ces dissolutions de fer et de manganèse, sous divers degrés d'oxidation, sont celles qui ont presque toujours coloré les roches. Elles semblent s'être infiltrées partout, et elles ont souvent produit des cristallisations ou colorations particulières désignées sous le nom de dendrites, et qui étaient très-recherchées pour les cabinets des curieux. Certaines actions capillaires ont agi aussi dans le dépôt des dendrites. On voit quelquefois des roches dont la couleur ou les dendrites ne sont qu'extérieures. M. de Humboldt, à qui rien n'a échappé dans ses intéressants voyages, en rapporte plusieurs exemples :

« Dans les cataractes, et partout où l'Orénoque, entre les missions de Carichana et de Santa-Barbara, baigne périodiquement les rochers granitiques, ceux-ci sont lisses, noirs,

et comme enduits de plombagine. La matière colorante ne pénètre pas dans la pierre, qui est un granit à gros grains renfermant quelques cristaux isolés d'amphibole. L'enduit noir a $\frac{3}{10}$ de ligne d'épaisseur; il se trouve de préférence sur les parties quartzenses. Les cristaux de feldspath ont conservé quelquefois au dehors leur couleur blanc-rougâtre, et s'élèvent au-dessus de la croûte noire. En cassant la roche avec le marteau, on trouve l'intérieur intact, blanc, sans trace de décomposition.

» Nous les avons vues, non-seulement dans le lit de l'Orénoque, mais sur quelques points; jusqu'à 500 toises de distance du rivage actuel, à des hauteurs où les eaux ne parviennent plus aujourd'hui dans leurs grandes crues.

» Qu'est-ce que cette croûte noir-bleuâtre qui donne à ces rochers, lorsqu'ils ont la forme globuleuse, l'aspect de pierres météoriques? comment doit-on concevoir cette action de l'eau qui produit un dépôt ou un changement de couleur si extraordinaire? Remarquons d'abord que le phénomène n'appartient pas aux cataractes seules de l'Orénoque, mais qu'on le retrouve dans les deux hémisphères. Lorsqu'à son retour du Mexique, en 1807, M. de Humboldt montra les granits d'Atures et Maypures à M. Rozière, qui a parcouru la vallée d'Égypte, les côtes de la mer Rouge et le mont Sinaï, ce savant géologue lui fit voir que les roches primitives des petites cataractes de Syène offrent, comme les roches de l'Orénoque, une surface lustrée gris-ouïâtre, presque plombée; dans quelques fragments, on les dirait enduites de goudron. Récemment encore, dans la malheureuse expédition du capitaine Tuckey, des naturalistes anglais ont été frappés du même aspect dans les *Yellalas* (rapides et écueils) qui obstruent la rivière Congo ou Zaïre.

» Dans les deux roches, celle de l'Orénoque et d'Afrique, la croûte noire est composée, selon l'analyse de M. Children, d'oxide de fer et de manganèse. Il faut remarquer que tous ces phénomènes de coloration ne se sont offerts jusqu'à présent que sous la zone torride, dans des rivières qui ont des crues périodiques, dont la température moyenne est de 24 à 28 degrés centésimaux, et qui coulent, non sur

des grès ou des roches calcaires, mais sur des granits ¹. »

M. Berzelius, qui, à la prière de M. de Humboldt, a aussi analysé ces croûtes, y a reconnu, comme M. Childreu, la présence du fer et du manganèse.

Ce chimiste célèbre pense que les fleuves n'arrachent pas les oxides du sol sur lequel ils coulent, mais qu'ils les tirent de leurs sources souterraines et les déposent sur les roches, comme par cémentation, par un jeu d'affinités particulières, peut-être par l'action de la potasse du feldspath ².

On voit encore sur les roches calcaires des colorations très-singulières qui proviennent de l'action de l'eau sur la partie extérieure des couches, et quelquefois aussi du transport de différentes matières dans leur tissu. Plusieurs roches sont aussi colorées en noir par le bitume ou les débris organiques. Enfin, les contrées volcaniques offrent souvent des roches à surfaces colorées, mais sur lesquelles la matière colorante a été déposée ou formée par sublimation.

L'eau pure peut aussi créer du gypse, en s'infiltrant dans des masses d'anhydrite; et lorsqu'elle s'est chargée d'alun, de carbonate de soude et de plusieurs sels solubles, elle les dépose quelquefois, sous forme de croûtes légères, sur les roches abritées de la pluie.

On voit que ces petites créations ne sont rien si on les compare à la masse du globe; mais nous ignorons si ces mêmes facultés dissolvantes de l'eau n'ont pas été bien plus fortes lors du dépôt des terrains de sédiment. Il est probable du moins que ce liquide était chargé de différents principes qui, en lui donnant le pouvoir de se saturer d'un plus grand nombre de substances, lui permettaient par conséquent de déposer des produits plus variés et plus abondants.

Des stalactites ou des concrétions.

Les roches calcaires offrent ainsi des traces d'altération comme celles qui sont cristalli-

sées. On voit souvent, sur les bords de la mer ces roches corrodées par les sels qu'entraînent la vapeur d'eau et par ce brouillard d'eau salée que produisent les vagues en venant heurter contre les falaises.

On remarque aussi des couches calcaires creusées de sillons assez profonds, percées de trous irréguliers, et comme dissoutes sur plusieurs points de leur surface. Il semble que des canx acidules aient ruisselé sur leurs pentes, et les aient dissoutes en partie. Ce genre d'altération est d'autant plus facile à concevoir, que l'eau pure dissout déjà le carbonate de chaux; la pluie surtout l'attaque d'une manière sensible, et à plus forte raison l'eau chargée d'acide carbonique. La matière calcaire ainsi dissoute ne tarde pas à se déposer, et donne naissance à des concrétions plus ou moins cristallisées que l'on rencontre principalement dans les grottes où suintent ces canx calcaires.

Les eaux peuvent encore se charger d'autres matières, et les déposer sous les mêmes formes, c'est-à-dire avec une structure concrétionnée, comme l'albâtre. Ainsi, on rencontre des stalactites d'oxide de fer, connues sous le nom d'bématites, d'oxide de manganèse, d'oxide de zinc, de quartz, de malachite ou carbonate de cuivre; mais ce sont des raretés, si on les compare à celles qui sont calcaires, et que l'on trouve dans une foule de grottes.

Parmi les plus remarquables, on distingue les grottes d'Orselles, ou Auxelles, en Franche-Comté; d'Arcy-sur-Cure, près de Vermanton, en Bourgogne; de Canmout, près de Rouen; celle de la Balme, sur l'Arve, décrite par Saussure; celle de la Balme, sur le Rhône, au-dessus de Lyon; celle de Lombrives, dans le pays de Foix, celle de Bauman, dans le duché de Brunswick; la caverne de l'île de Minorque; le Pool's-Hols, dans le Derbyshire; la magnifique grotte d'Adelsberg en Carniole ³, et les célèbres cavernes d'Antiparos.

Ce sont toujours les mêmes phénomènes qui se reproduisent pendant la création des stalactites. L'eau calcaire pénètre dans une

¹ Humboldt, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. VII, p. 24.

² Idem, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. VII, p. 26.

³ Voyez la description détaillée de cette caverne dans la *Revue britannique*, juin 1830, p. 204.

cavité par les fissures de la roche; parvenue à l'extrémité du canal qui l'a conduite, elle forme une goutte qui reste suspendue jusqu'à ce que son volume ayant augmenté, elle tombe par son propre poids. Pendant que la goutte est suspendue, les molécules de matières pierreuses dont elle est chargée, et qui sont le plus rapprochées du petit canal dont elle sort, s'y attachent sous la forme d'un petit cercle de matière solide; mais les parties qui en sont plus éloignées sont emportées dans la chute de la goutte, et tombent avec elle sur le sol de la grotte, s'y fixent et y forment une petite éminence, lorsque l'eau qui sert de véhicule a disparu par évaporation ou par absorption dans la roche qui compose le fond de la grotte. Ce léger exhaussement du sol, ainsi que le petit cercle resté sur les bords de l'orifice du plafond, serait à peine sensible, si ce n'était que le produit d'une seule goutte d'eau; mais comme les gouttes se succèdent assez rapidement, la masse des dépôts solides augmente peu à peu des deux côtés, et finit par former sur le sol un cône qui y tient par sa base, et au plafond un tuyau qui est une continuation du canal par lequel l'eau débouche quand elle arrive au plafond. Ce tuyau grossit à l'extérieur parce qu'il reçoit l'eau d'autres caux du plafond qui arrose le dehors du tuyau, et y dépose des couches de matières solides. Le cône s'élève par le haut, le tube s'allonge par le bas, et à la fin, les deux extrémités, dont l'une s'élève tandis que l'autre s'abaisse, se joignent, se confondent, et forment une sorte de colonne dont les deux bouts sont éloignés, et touchent à la fois les parois inférieure et supérieure de la caverne.

Autrefois on attachait une grande importance aux formes de ces concrétions, et on donnait spécialement le nom de *stalactites* aux pointes qui descendaient dans la grotte, et l'on appelait *stalagmites* les dépôts concrétionnés qui s'élevaient à la surface du sol.

On peut juger par la marche de l'eau qui opère l'accroissement et la réunion du cône et du tuyau dont nous venons de parler, qu'ils sont tous deux composés de couches additionnelles, et que le cône surtout a la plus grande solidité; mais toutes les stalactites qui sont suspendues à la voûte des grottes n'ont pas

un tuyau dans leur intérieur. Pour que ce tube puisse se former, il faut d'abord que l'orifice du canal qui est dans le rocher, et d'où sort la goutte d'eau, soit à peu près horizontal, afin que la goutte reste suspendue par tous les points de ses bords, et qu'elle y forme un cercle entier de matière stalactitique. Si, au contraire, l'orifice du canal est incliné, de telle sorte que la goutte ne tienne qu'à la partie inférieure des bords de l'orifice, les molécules de matière solide dont elle est chargée, ne peuvent s'attacher qu'à cet endroit. Dans ce cas, la stalactite est solide, de même que celles qui sont formées par l'eau qui suinte des parois inclinées ou latérales de la grotte. L'eau, en coulant le long de ces parois, et en descendant jusque sur le sol, laisse dans sa marche et dépose dans les parties inférieures plusieurs couches de matière solide les unes sur les autres. Il arrive aussi que le tuyau des stalactites du plafond s'emplît et s'obstrue complètement.

Ce que nous venons de dire doit faire présumer que des corps ainsi formés par l'eau, doivent présenter une grande variété dans leurs formes, variété qui est encore augmentée par l'irrégularité des contours des cavernes; aussi l'aspect d'une grotte revêtue de stalactites surprend toujours beaucoup ceux qui y pénètrent pour la première fois; ils rencontrent partout des formes extraordinaires et bizarres, parmi lesquelles ils trouvent de suite des ressemblances avec des objets connus. Aussi toutes les descriptions de grottes à stalactites contiennent des détails sur des pierres qui ont la forme de choux-fleurs et de champignons, de guirlandes ou de festons, de jeux d'orgues, de quadrupèdes, etc., et ces figures fantastiques donnent leur nom aux salles principales de ces labyrinthes souterrains. Mais quand on met de côté toute idée de merveilleux, on remarque dans toutes ces concrétions calcaires une grande ressemblance avec des ébutes d'eau qui se seraient tout à coup congelées en se modelant sur les parois.

Ce que nous avons dit de la formation de la glace retrouve son application dans cette circonstance. Comme dans la glace, la surface des stalactites est tantôt lisse, et tantôt couverte d'aspérités qui ne sont que les poin-

tements d'un grand nombre de cristallisations. Quand on les casse en travers, on leur trouve généralement une structure rayonnée, et il arrive souvent que les couches dont elles sont formées sont séparées par des zones colorées, qui démontrent qu'à des époques périodiques, des eaux ferrugineuses se sont mêlées à celles qui contenaient la matière calcaire.

Certaines cavernes ont été entièrement remplies par des concrétions calcaires, et on exploite maintenant plusieurs masses de ce genre, sous le nom d'*albâtre oriental*.

Des dépôts analogues aux stalactites se forment aussi dans les fentes des rochers, où ils contribuent à créer ces veines de coulens différentes, que l'on observe dans quelques marbres. Ils remplissent aussi de petits filons, se concrétionnent d'abord sur les deux parois de la fente, et finissent par remplir l'intérieur. Quelquefois des fragments de rochers tombent dans ces fentes, ainsi que des ossements, qui bientôt sont empatés, et forment des espèces de brèches.

Il y a nécessairement dans ces créations des affinités particulières qui contribuent à favoriser le dépôt dans certains points et à l'éloigner sur d'autres. Il paraît même que, dans quelques circonstances, la présence de certains corps est nécessaire au développement des stalactites. Ainsi, c'est seulement dans les mines de fer spathique, mais non dans toutes, que l'on rencontre les stalactites cristallisées appelées *flos ferri*, dont la structure est vraiment singulière : ce sont des touffes de rameaux cylindriques qui atteignent quelquefois un pied de longueur, quoique leur diamètre ne dépasse guère 2 ou 3 lignes. Ces rameaux sont souvent géométriques ou dichotomés ; ils se croisent sans se confondre, et sont formés d'une infinité de petits cristaux d'arragonite, dont la base est au centre du tube et le pointement en dehors.

Des réactions chimiques et électro-chimiques.

Lorsqu'un corps liquide est en contact avec un ou plusieurs corps solides, il arrive de deux choses l'une : ou ces corps sont sans action les uns sur les autres, ou bien ils réagissent.

Nous ne sommes pas certains de la vérité

de la première de ces propositions, car nous ne savons pas si nous mettons les corps qui nous semblent sans action dans les circonstances convenables pour que leur action se développe. C'est ainsi que nous plaçons dans la première de ces divisions plusieurs substances que M. Becquerel nous a apprises réagir très-bien quand on les dispose convenablement. Il est vrai, dit ce savant chimiste, qu'on ne peut vérifier directement si les moyens qu'on emploie dans les laboratoires sont véritablement ceux dont la nature a fait usage dans la création des terrains de sédiment ; mais si l'on peut arriver à prouver que les causes que l'on met en action se présentent dans la terre avec les mêmes circonstances, rien ne s'oppose alors à ce que l'on admette que les mêmes effets s'y produisent également.

Les affinités diverses qui sollicitent les corps à se réunir sont très-probablement des effets électriques dont nous ne connaissons pas la véritable valeur. Leur étude constitue l'électro-chimie, science toute nouvelle, dont la culture promet de riches moissons. L'électro-chimie, telle que la conçoit M. Becquerel, n'emploie que des corps à l'état naissant et des forces excessivement faibles, qui, produisant les molécules, pour ainsi dire, une à une, les disposent à prendre des formes régulières, même quand ils sont insolubles, parce que le nombre des molécules ne peut apporter aucun trouble dans leur arrangement. Le temps est la grande puissance qui s'associe à l'électro-chimie et concourt à ses résultats. Ses effets ont lieu sans doute depuis le commencement du monde, et ils continuent de nos jours. Aussi, une grande partie des corps cristallisés qui se forment encore dans les filons et dans les terrains de sédiment, sont créés sous l'influence de cette force particulière.

« Toutes les fois qu'un corps réagit sur un autre, celui qui joue le rôle d'acide, prend, comme on sait, l'électricité positive, et celui qui se comporte comme alkali, l'électricité négative. La recomposition de ces deux électricités est plus ou moins immédiate sur la surface même de contact, suivant la faculté conductrice des deux corps. Dans ce cas, il y a un simple rétablissement d'équilibre sans production de courant, attendu qu'il

n'y a pas de déplacement des deux fluides; ou, s'il y a des courants, ils ont lieu dans toutes sortes de directions, et dès lors leurs actions se contrarient et se détruisent. Mais il n'en est plus de même lorsqu'ils communiquent avec un troisième corps suffisamment bon conducteur pour qu'une portion des deux électricités dégagée éprouve moins de difficulté à le suivre pour former du fluide neutre, qu'à se combiner sur la surface même de contact; alors il y a production d'un courant et d'effets électro-chimiques plus ou moins sensibles, dépendant de la nature des corps; l'un des corps au moins doit être liquide ¹.

On voit que certains corps, dans ces circonstances, agissent simplement par leur présence, qui détermine les combinaisons, par le plus ou moins d'aptitude qu'ils ont à conduire un courant électrique. M. Becquerel explique de cette manière la formation des cristaux de cuivre oxydulé, comme ceux que l'on trouve à Chessy, la réduction de certains métaux dans les mines, la création du phosphate de fer bleu au contact des matières organiques, la formation des cristaux insolubles de sous-nitrate, de sous-sulfate ou de sous-chlorure de cuivre, de malachite, de chromate de plomb rouge, etc.

Nous ne nous attacherons pas à reproduire ici les procédés et les explications de M. Becquerel; on trouvera ces détails dans l'ouvrage si remarquable et si original qu'il a publié sur ce sujet: il nous suffit d'avoir fait remarquer qu'un grand nombre de cristaux entièrement insolubles ont été probablement formés par voie aqueuse, et que les forces qui les ont produits, actuellement très-faibles, peuvent avoir agi, autrefois avec plus d'intensité, et que, dans tous les cas, il suffit d'accorder du temps à la nature pour expliquer un grand nombre de phénomènes.

Quant aux composés que nous créons tous les jours dans nos expériences de laboratoire, et par nos procédés ordinaires, nous devons penser que plusieurs d'entre eux se forment journellement dans la nature. Ainsi les pyrites de fer et de cuivre se transforment en sulfates; les bi-carbonates dissolvent différentes

substances, ou produisent une foule de doubles décompositions; la silice, séparée, à l'état de gelée soluble, de plusieurs de ses combinaisons, peut être entraînée par les eaux de lavage et aller ailleurs former des cristallins de quartz, des byalites et diverses concrétions qui se déposent de nos jours, peut-être même quelques silicates. Ce n'est pas dans un traité de cette nature que nous pouvons énumérer toutes ces petites créations locales; il nous suffit d'indiquer le mode suivant lequel la création s'opère: le reste appartient à la minéralogie et aux sciences chimiques.

Variations de formes dans les cristaux.

Nous avons dit tout à l'heure que la présence de certains corps, bien qu'ils n'entraînent pas dans les combinaisons, pouvaient cependant les favoriser. Nous allons voir encore ces actions de présence modifier la forme des cristaux.

La forme que nous offrent les substances minérales cristallisées est, comme on le sait, extrêmement variable; car, pour citer un seul exemple, la chaux carbonatée peut offrir au moins 400 modifications différentes. Malgré tous ces caractères secondaires, il n'existe qu'une ou deux formes fondamentales pour la chaux carbonatée; mais *quelles sont alors les causes qui sollicitent une même substance minérale à affecter des formes cristallines si variées; et pourquoi, dans un cas, tel corps affecte-t-il une certaine forme plutôt que telle autre, parmi celles qu'il est susceptible de prendre?* Telles sont les questions que M. Beudant s'était proposé de résoudre, questions graves dont on ne s'était nullement occupé avant lui, et qu'il a traitées avec un rare talent. Ce que nous allons dire sur cet objet est, en grande partie, extrait du travail de ce savant minéralogiste ².

Les diverses formes cristallines d'une même substance ne se montrent pas indistinctement dans tous les gisements; la nature n'a pas opéré au hasard: On remarque, au contraire souvent, que des formes cristallines sont semblables lorsqu'elles se trouvent dans

¹ BECQUEREL, *Traité de l'électricité et du magnétisme*, t. I, p. 558.

² *Annales des Mines*, 1818, 2^e et 3^e livraisons, et *Traité élémentaire de Minéralogie*.

des gisements et des circonstances analogues, tandis qu'elles sont différentes dans des circonstances opposées.

Ainsi la chaux carbonatée en prisme hexaèdre provient de quelques mines du hartz, où on la trouve dans des filons qui traversent des schistes argileux et où ils sont accompagnés d'argent antimonisé sulfuré, d'antimoine sulfuré, d'arsenic natif, etc. Les variétés qu'Haüy a nommées *métastatique* et *bisalterne* nous viennent, en grande partie, du Derbyshire, où elles se trouvent dans des filons qui traversent un calcaire coquillier, et où elles sont accompagnées de zinc sulfuré, de chaux fluatée et souvent de bitume. La variété en *rhomboïde inverse* se rencontre dans des terrains de sédiment et principalement dans l'intérieur des coquilles qu'ils renferment.

L'*arragonite*, qui vient d'Espagne et des Pyrénées, et qui existe empâtée dans des masses argileuses, mélangées de chaux sulfatée, diffère par sa forme de celle que contiennent les terrains volcaniques; et les cristaux de cette même substance que l'on rencontre dans les minerais de fer, ceux de Salzbourg, qui sont accompagnés de baryte sulfatée et de chaux carbonatée ordinaire, ont aussi des caractères particuliers.

Des différences aussi notables existent entre la cristallisation de la chaux phosphatée de Bohême, de Saxe, du St.-Gothard, et celle de Norvège et du cap de Gates.

Dans le pyroxène, les cristaux de Norvège qui se trouvent avec du fer oxidulé, ceux de la vallée d'Ala en Piémont, qui font partie d'une roche particulière de grenat; ceux du Tyrol, empâtés dans la chaux carbonatée laminaire, sont tous très-distincts par leurs formes, puisque aucune n'a été observée parmi les pyroxènes des terrains volcaniques.

L'amphibole, le feldspath, le fer oligiste offrent des différences aussi notables.

Quand des cristaux de forme différente se rencontrent dans la même création, chaque forme est presque toujours circonscrite dans un espace particulier. Et, d'un autre côté, si l'on trouve des cristaux très-différents de la même substance réunis sur le même groupe, et qui, par conséquent, se sont bien formés dans le même gisement, on reconnaît que

ces cristaux, loin d'être mêlés au hasard, se montrent successivement, et qu'ils proviennent de divers dépôts qui se sont formés à des époques différentes. Ils se distinguent d'ailleurs par leur couleur ou par leur degré de transparence, en sorte que l'on doit supposer que les diverses époques de leur formation étaient accompagnées de circonstances particulières. C'est aussi ce qui paraît avoir lieu pour certains cristaux qui, après avoir affecté une forme déterminée, sont passés à une forme différente par une suraddition de matière de même nature sur quelques-unes de leurs parties. Le degré de transparence ou la couleur particulière de la couleur additive annoncent clairement que les circonstances environnantes étaient différentes aux diverses époques de l'accroissement de ces cristaux.

D'un autre côté, les mêmes circonstances de gisement, c'est-à-dire la même position et la présence des mêmes minéraux accompagnant, produisent des formes analogues, bien que les lieux de gisement soient séparés par des espaces considérables. Ainsi partout, dans les masses argileuses mélangées de chaux sulfatée, dans l'Arragon, dans le Béarn ou dans les Landes, l'*arragonite* présente les mêmes variétés de formes et les mêmes groupements, tandis que, dans les minerais de fer, soit en France, soit en Carinthie, les cristaux de cette substance, d'ailleurs bien distincts des premiers, présentent assez constamment les mêmes formes dominantes. Dans les terrains volcaniques, l'*arragonite* est encore partout la même.

Le terrain d'Arandal en Norvège, et celui de Traverselle en Piémont, semblables sous plusieurs rapports, présentent des cristaux de pyroxène, qui ont entre eux la plus grande analogie.

Les terrains volcaniques, qui sur tous les points du globe ont les plus grands rapports, offrent presque partout les mêmes variétés de pyroxène et d'amphibole.

Les porphyres, les terrains chloriteux, qui renferment chacun des cristaux différents de feldspath, en présentent partout aussi les mêmes variétés.

Les granites, qui se trouvent dans des contrées si différentes, contiennent des cris-

taux de feldspath, qui ont presque toujours la même forme et qui sont maciés de la même manière.

Ces importantes considérations, développées par M. Beudant, l'ont conduit à une série d'expériences qui lui ont en partie dévoilé les lois accessoires de la cristallisation, et dont nous allons indiquer sommairement les principaux résultats. Il a reconnu trois causes principales de variations, dont chacune peut agir isolément, et donne alors constamment une forme particulière, ou bien conjointement avec une ou plusieurs autres, d'où parait résulter cette multitude de formes qu'une même espèce de sels est susceptible de prendre. Ces trois causes sont :

1^o Les mélanges mécaniques de matières étrangères qu'un sel peut entraîner dans sa cristallisation ;

2^o La nature du liquide au milieu duquel se forment les cristaux d'une substance, nature qui peut varier par les matières solides, liquides ou gazeuses, tenues en solution, et qui ne sont pas susceptibles de se combiner avec celle qui cristallise ;

3^o La combinaison, en proportions variables, de telle ou telle substance avec celle qui cristallise.

Influence des mélanges mécaniques. —

Quand les matières étrangères sont en suspension pendant la cristallisation, elles se déposent par zones concentriques, à l'intérieur du cristal, dans l'intervalle de ses divers accroissements ; mais si le sel cristallise au milieu même du dépôt, les cristaux en entraînent une petite portion, et sont toujours alors d'une forme plus simple et plus régulière que celle qu'ils auraient prise naturellement en se formant spontanément. Les cristaux qui ont emporté ainsi des substances étrangères, sont toujours plus simples que les autres : tels sont ceux d'axinite, de feldspath, etc., qui sont remplis de particules de mica, et qui sont plus simples que les cristaux purs que l'on trouve à côté sur le même grappe.

Influence de la nature du liquide. — Le liquide dans lequel s'opère la cristallisation, a nécessairement une action marquée sur la

forme des cristaux. M. Beudant l'a démontré par un grand nombre d'expériences, et notamment en ajoutant ou en retranchant une petite portion de l'acide des sels. En ajoutant un peu d'acide à une solution de sulfate de fer, on obtient des formes plus compliquées. Comme il est rare que dans des filons on dans des cavités quelconques, des cristaux se trouvent seuls, on doit attribuer à cette cause la plus grande partie des variations de formes dans les cristaux naturels. Tels sont les exemples que nous avons cités relativement au carbonate de chaux, à l'aragonite, etc.

Influence des matières qui se combinent. —

Les matières qui peuvent se combiner changent la forme des cristaux, tantôt en les rendant plus simples, tantôt, au contraire, en leur procurant des facettes additionnelles ; mais les formes dues à cette cause, sont constantes si les proportions et les autres circonstances accessoires restent les mêmes. C'est sans doute à des combinaisons de ce genre que sont dues les formes variées des nombreux silicates qui existent dans la nature.

En appliquant ces trois causes de variations à des substances qui existent dans les roches, M. Beudant explique le changement de forme qu'un même cristal peut offrir à différentes époques de son accroissement, et les superpositions de cristaux sur le même échantillon. Il suffit d'admettre que la dissolution a changé de nature, ce qui a dû arriver souvent.

La présence d'un dépôt épais dans lequel la cristallisation s'opère, produit toujours ou des cristaux isolés ou des boules de cristaux. C'est en effet ce que l'on observe souvent, car c'est dans les argiles et les marnes que se rencontrent presque toujours les beaux cristaux isolés de gypse, de chaux carbonatée, de fer sulfuré, etc., ou bien les boules de pyrite, de strôntiane fibreuse, de gypse, etc. Il s'établit alors des centres d'attraction, qui donnent naissance à des cristaux et quelquefois à des masses globuleuses ou aplaties, qui ne sont pas cristallisées. Ainsi les ménilites se solidifient en boules ou en masses irrégulières au milieu de la chaux carbonatée pâteuse. Les silices se séparent de même en bancs verticaux et en rognons distincts dans presque tous les terrains de craie, au lieu de

rester mélangés à la rousse, comme dans les calcaires siliceux.

C'est en étudiant, comme l'a fait M. Beudant, avec un soin scrupuleux, toutes les petites actions d'affinité auxquelles la matière est soumise, que nous pourrions peut-être par la suite pénétrer une partie du mystère qui voile encore toutes les créations des deux règnes.

De la nitrification.

On retrouve dans l'Inde, dans l'Amérique, en Égypte et même sur quelques parties de l'Europe méridionale, des plaines qui se couvrent d'efflorescences pendant les chaleurs, et qui chaque année reproduisent le même phénomène. Ce sont des nitrates, et notamment ceux de potasse, de chaux et de magnésie, qui se développent en si grande quantité. On recueille, pour les besoins du commerce, beaucoup de ces sels, et, chaque année, la même quantité vient s'effleurir.

Nous voyons aussi le salpêtre se former dans nos appartements, dans tous les lieux humides, dans les caves, etc. On l'a rencontré en abondance dans l'île de Ceylan. Il y a dans cette île vingt-deux cavernes d'où l'on extrait le nitre. Les principales sont celles de Mémoora, de Boulat-Welgoddi et d'Ouva.

M. Fournet a aussi observé des houppes soyeuses de salpêtre sur les laves de Chaluset, en Auvergne. M. Gaultier de Claubry, dans son travail sur les calcaires nitrifiables du bassin de Paris, cite particulièrement ceux de la Roche-Guyon. Le calcaire qui se nitrifie dans cette localité est une craie très-poreuse, dont les couches sont coupées à pic et exposées, au midi, à l'action directe des rayons solaires. Les parties qui sont au nord n'en fournissent que très-peu. Le salpêtre se dépose particulièrement sur les arêtes des entailles faites avec la hache des exploitants et sur les bords des silex. La nitrification cesse là où il se trouve de petites couches de calcaire grossier. L'action est rapide, car on gratte la surface des couches qui se forment journellement, plusieurs fois par an. La nitrification est abondante dans les saisons chaudes et humides; elle l'est moins dans les saisons chaudes et sèches, et encore

moins dans les saisons froides et humides¹.

On ne peut disconvenir que dans ces différents exemples le nitre ne se forme journellement et successivement; car il est impossible d'admettre qu'il sorte ainsi, depuis des siècles, des couches intérieures du globe. On sait, d'ailleurs, qu'on peut le former artificiellement, comme cela se pratique depuis longtemps dans les ateliers.

On a remarqué que les matières ou simplement les émanations animales favorisaient beaucoup sa formation. Aussi, dans nos maisons, c'est dans les lieux humides et longtemps habités par les hommes et les animaux qu'il se dépose de préférence. Mais on ne peut admettre une telle supposition ni pour le salpêtre de l'Inde, ni pour ceux de Ceylan, pas plus que pour ceux de Roche-Guyon et de Chaluset. On pense avec raison que la potasse peut être contenue dans le sol, puisque presque partout les roches renferment du feldspath qui, par sa décomposition, peut en fournir; mais l'acide nitrique ne peut provenir que de l'atmosphère ou de matières animales. Plusieurs chimistes regardent ces dernières comme indispensables à la formation du nitre; d'autres assurent que l'atmosphère seule produit l'acide nitrique qui se combine à la base. Il faut, dans tous les cas, le contact d'une roche poreuse, qui sert en quelque sorte de support à l'opération, et qui recevant dans ses pores la potasse et l'acide nitrique, ou du moins les éléments qui les composent, permette à ces corps de se combiner dans son tissu. Probablement aussi la roche poreuse agit en favorisant quelque action électro-chimique et peut-être la création de l'acide nitrique. Que l'on assure que les matières animales courent puissamment à la nitrification, personne ne soutiendra une thèse contraire; mais tout démontre que leur présence n'est pas indispensable, et que, dans certains cas, leur contact est même impossible.

Comment supposer, par exemple, qu'à la Roche-Guyon, la craie puisse recevoir assez d'émanations animales pour entretenir cette fabrication continue de salpêtre? Com-

¹ GAULTIER DE CLAUBRY, *Annales de chimie et de physique*, t. LII, p. 24.

ment surtout concevoir l'efflorescence de ces grandes plaines des contrées méridionales? On pourrait plutôt admettre la coopération de ces matières organiques, quand le salpêtre se produit dans des cavernes, comme à l'île de Ceylan; mais sir John Davy, qui les a visitées, émet précisément une opinion contraire.

« Les roches dans lesquelles elles sont creusées, contiennent toujours au moins du carbonate de chaux et du feldspath. La décomposition de celui-ci fournit la base; et le carbonate, en exerçant sur l'oxygène et l'azote de l'atmosphère une action particulière, mais dont jusqu'ici on n'a pas du tout compris la nature, donne naissance à l'acide. La présence simultanée de l'air atmosphérique, de la chaux et d'un minéral alcalin, est absolument nécessaire à la production du salpêtre. Cette production est singulièrement favorisée par l'existence d'un peu d'humidité et celle d'une petite quantité de matières animales; mais ces deux dernières circonstances ne sont pas indispensables ¹. »

M. Fournet, dont toutes les observations ont été faites avec un jugement remarquable, a proposé une théorie de la nitrification qui semble s'accorder très-bien avec les procédés qu'emploie la nature dans cette mystérieuse opération. Il croit aussi que l'acide nitrique peut être produit sans le concours de matières organiques, par la seule réaction des éléments de l'air et de la vapeur d'eau. Il rappelle les travaux de M. de Saussure qui constatent que l'oxygène est plus condensé par les corps poreux que l'azote, dans le rapport de 6, 50 à 4, 02; et ceux de MM. de Humboldt et Gay-Lussac, qui ont observé que l'air dégagé de l'eau par l'ébullition, contient d'autant plus d'oxygène que les diverses fractions de ce gaz ont été recueillies plus tard. Il en résulte que l'oxygène est non-seulement retenu avec une grande force, mais ce qu'il y a de remarquable, c'est que la composition des dernières parties du gaz approche beaucoup de celle du protoxide d'azote. M. Fournet en a conclu qu'il pourrait se faire que les actions réunies des corps poreux et de l'eau sur les éléments de l'air, produisissent d'abord du protoxide

d'azote, puis du nitrate d'ammoniaque; attendu que l'on sait que ce dernier sel se décompose en protoxide d'azote et en vapeur d'eau. Ce nitrate, une fois formé, réagit sur les carbonates alcalins, leur cède son acide; et se change en nitrate de potasse, tandis que l'ammoniaque se combine avec l'acide carbonique et se dégage.

M. Fournet appuie sa théorie sur le fait bien connu qu'une étincelle électrique, en traversant l'air, forme du nitrate d'ammoniaque, que l'on retrouve en dissolution dans l'eau des pluies d'orage; on sait ensuite que la plupart des corps minéraux poreux, et notamment les oxides, contiennent naturellement de l'ammoniaque. Enfin, M. Becquerel a toujours observé que dans toute action électro-chimique, quelque faible qu'elle soit, si l'eau est décomposée au contact de l'air, il y a toujours formation d'ammoniaque.

Des remplacements ou épigénies.

Il arrive souvent, dans les différentes couches de sédiment, que des cristallins empiétés dans ces couches, ou même des corps organiques qui s'y trouvaient contenus, ont entièrement disparu, et l'on trouve alors de véritables moules d'une exactitude remarquable; mais ce qui arrive aussi quelquefois, c'est que ces moules sont remplis par une matière tout à fait différente de celle qui s'y trouvait contenue. Ainsi, on voit du quartz qui a remplacé du sulfate de chaux, de la chaux fluatée, de la chaux carbonatée, ou de la silice qui a rempli des cavités qu'avaient laissées des branches d'arbres, des coquillages ou d'autres débris du règne organique. Quoiqu'on n'aperçoive pas distinctement comment la première substance s'est dissipée, ni par quel moyen la seconde est venue la remplacer, on comprend cependant la possibilité d'un tel changement au moyen de liquides chargés de différents corps. On conçoit plus difficilement, dans une substance composée, comment un des éléments a pu s'échapper et être remplacé par un autre; c'est cependant ce qui arrive assez souvent. Fréquemment on rencontre des sulfures de fer qui ont perdu leur soufre, et dont le fer, en absorbant de l'oxygène, s'est transformé en oxide souvent hydraté. On voit

¹ SIR JOHN DAVY, *Annales de Chimie*, t. XXV, p. 200.

des carbonates et plus souvent des phosphates de plomb convertis en sulfures, et conservant les formes de ces premiers composés ; du sulfate de chaux se change en sulfate de strontiane. La forme est toujours conservée, comme nous venons de le voir ; mais la structure intérieure est le plus souvent changée dans les espèces minérales. On est parvenu artificiellement à créer plusieurs de ces épigénies partielles au moyen de corps gazeux ou liquides, et même par le contact prolongé de corps solides légèrement humectés. On est loin cependant de connaître ce qui est relatif à ces singulières métamorphoses ; mais M. Becquerel a mis sur la bonne voie ceux qui voudraient s'occuper de ces intéressantes recherches.

C'est par un phénomène analogue que semblent s'opérer les pétrifications, et non par une opération de moulage, comme nous en avons cité des exemples tout à l'heure.

C'est une chose bien digne de toute notre attention que de voir la netteté avec laquelle la nature conserve et rend indestructibles les parties les plus délicates de l'organisation. Rien de plus simple que de concevoir des impressions de feuilles, de plantes, de poissons, de plumes même, comme celle qui a été trouvée en Auvergne ; mais comment expliquer l'admirable conservation des tissus ligneux et la diversité des matières qui les ont remplacés ?

Ainsi, ils sont ébagnés en *agate* dans les couches sablonneuses des environs de Soissons, d'Étampes, etc. ; ils sont formés de *quartz* résinite dans les produits volcaniques de la Hongrie ; ils sont changés en *tripoli* à Poligné, en Bretagne ; d'autres en *grès quartzeux* pénétrés d'oxide de cuivre, comme ceux que Patrin observa entre le Volga et les monts Oural ; d'autres en *mine de fer*, comme les bouleaux fossiles de Sibérie ; d'autres en *minéral aurifère*, comme ceux de Vorospatak, en Transylvanie ; d'autres en *terre d'ombre*, comme la vaste coube de bois fossile des environs de Cologne, et cependant leur conservation est si parfaite, que, dans ces derniers temps, on est parvenu à déterminer presque leurs genres, sur l'anatomie des fragments fossiles.

On a trouvé près de Grignon des échantillons de bois agatisé, qui contiennent une foule

de larves d'insectes, qu'on dirait encore dans leur état naturel.

M. Lelièvre, membre du conseil des mines, avait pareillement dans sa collection, un échantillon de bois agatisé, d'une couleur obscure, tout criblé de gros vers blancs dont on reconnaissait encore l'organisation.

Dans plusieurs échantillons de ces bois agatisés, les vers sont mobiles dans leur alvéole, ce qui détruit absolument toute idée de moulage au moyen d'un fluide quartzéux ; car, dans cette hypothèse, le tout aurait fait une masse compacte.

De Saussure parle d'un morceau curieux, qu'il vit à Bâle ; c'est un crabe fossile, dont les œufs mêmes, qu'on voit sous sa queue, sont pétrifiés. En Auvergne, on a trouvé des œufs d'oiseaux parfaitement conservés.

Les fruits pétrifiés, dont on a divers exemples bien constatés, prouvent encore la promptitude de la pétrification. Les *noix fossiles* de Lons-le-Saulnier sont un des faits les plus curieux de ce genre. Elles furent trouvées dans un ancien puits des salines, à trente toises de profondeur. Leur coquille et leur zeste sont demeurés à l'état ligneux ; mais la noix elle-même a été convertie en silex¹.

M. Buckland possède plusieurs échantillons de roches jurassiques, contenant des bélemnites, auprès desquelles se trouvent des sacs d'encre fossile, occupant tous la même position, relativement à la bélemnite qu'ils accompagnent, et ayant la plus grande analogie avec l'encre des sèches, et si bien conservée, que des peintres qui en ont fait usage, l'ont trouvée aussi bonne que celle retirée de ces animaux. Enfin, M. Erbenberg a récemment découvert des millions d'infusoires fossiles, dont certains tripolis sont entièrement composés.

Comment expliquer tous ces faits qu'on pourrait multiplier à l'infini ; comment concevoir que les tubes du bois soient restés creux au lieu de s'emplir les premiers ; que les vers n'ont pas été collés au bois par la matière pétrifiante ; que le corps mou des infusoires a pu être remplacé par de la siliée ? Il faut que la matière qui s'est substituée ainsi à une autre, dans ces différentes circonstances, soit arrivée moléculaire à moléculaire, et ait exae-

¹ Mémoire de l'Académie des Sciences, 1742.

tement remplacé celle qui se détachait; mais aucun fait chimique ne peut rendre raison de ce phénomène. M. Goppert, de Breslau, a bien adressé à l'Académie des sciences des échantillons de fossiles, préparés en faisant tremper les matières organiques dans des solutions minérales concentrées et en calcinant ensuite; mais il est douteux qu'il y ait du rapport entre ce procédé artificiel et

ceux de la nature; car, du moment où la calcination détruit quelque chose, le remplacement ou l'épigénie n'a pas été complet, et il reste à savoir si un laps de temps plus long présenterait une action plus complète.

Nous plaçons ce phénomène avec les actions chimiques, pour qu'il y occupe son rang; mais nous n'avons pas la prétention de l'expliquer.

CHAPITRE QUINZIÈME.

DES ACTIONS ORGANIQUES.

Les êtres organisés ont paru à la surface du globe à une époque extrêmement reculée; car leurs débris se trouvent dans les couches de sédiment les plus anciennes. Dès lors, ils ont contribué, pour leur part, à la formation de toutes ces couches, et de nos jours encore, nous les voyons entrer pour quelque chose dans les dépôts que forment journellement les cours d'eau. Nous étudierons par la suite l'ordre et la disposition de ces êtres à la surface du globe, ainsi que la distribution de leurs débris dans les différentes couches de la terre. Il nous suffit pour le moment de voir la part qui leur revient dans la formation des terrains.

Les végétaux et les animaux ne paraissent pas avoir eu chacun la même influence. Les premiers ont plus d'importance, et c'est par eux que nous allons commencer.

DES ACTIONS VÉGÉTALES.

Nous n'examinerons par ici l'influence que les végétaux exercent pendant leur vie sur les grands phénomènes de la nature, quoique cette influence s'étende très-loin; mais nous allons essayer de déterminer la nature et la puissance des dépôts qu'ils forment après leur mort.

L'humus, qu'il ne faut pas confondre avec

la terre végétale, est le premier produit ou du moins le résultat actuel de la décomposition des végétaux. Tous les ans, les feuilles qui tombent des arbres ou qui se détachent de plantes herbacées, l'écorce qui s'exfolle, les organes des fleurs qui se dessèchent, les racines qui meurent, et les enveloppes des fruits qui gisent sur le sol, se décomposent et se transforment en une matière noire que l'on désigne aussi sous le nom de *terreau*. Cette matière, par son mélange avec le sable, l'argile et les alluvions qui existent aux points où elle est créée, forme la *terre végétale* qui favorise si puissamment la végétation.

L'humus est produit en très-grande quantité, dans les vastes forêts de la zone torride et sous les sapins du Nord. Il s'en forme moins sous les climats tempérés, parce que les forêts y sont généralement moins étendues. Quand la décomposition des plantes, au lieu de se faire à l'air libre, se fait sous l'eau, il en résulte une variété d'humus connue sous le nom de *tourbe*, et qui se fait tous les jours sous nos yeux.

La tourbe se dépose dans tous les amas d'eau stagnante, sous quelque latitude qu'ils se trouvent; cependant on la rencontre en plus grande abondance dans le Nord que dans le Midi. On la trouve aussi à une très-grande élévation au-dessus du niveau de la mer.

Toutes les plantes aquatiques concourent à former la tourbe; mais on l'attribue principalement à quelques mousses, telles que les *sphagnum*, si communs dans tous les marais; aux *conferes*, aux *callitriches*, aux *lemma*, et à diverses espèces des genres *carex*, *scirpus*, *butomus*, *equisetum*, *utricularia*, *arundo*, *typha*, *aliama*, *sparganium*, *sagittaria*, *hippuris*, *myriophyllum*, *phellandrium*, *potamogeton*, et probablement à beaucoup d'autres espèces.

On rencontre une foule de corps étrangers dans les tourbières. Les grands arbres y sont communs, ainsi que les coquilles d'eau douce, qui sont quelquefois si abondantes qu'elles communiquent à la tourbe une odeur très-désagréable. On y a signalé des ossements humains, et même des cadavres entiers, et surtout un grand nombre d'ossements du cerf gigantesque, espèce d'élan, qui devait être très-commun à l'époque des grands dépôts de tourbe de l'Irlande. Parmi les minéraux, on a rencontré le sulfate de chaux, le fer pyriteux prismatique, le soufre pulvérulent, le fer hydraté limoneux, le fer phosphaté bien pulvérulent. Le sol qui est formé par de la tourbe, est toujours très-élastique et très-léger; aussi il repousse les corps légers qu'on y enfonce, comme les pieux, etc., tandis qu'il absorbe les corps pesants qui se trouvent à sa surface. C'est ainsi que l'on a quelquefois trouvé des chaussées romaines dans des tourbières qui ne s'étaient pas formées après la construction de ces chaussées, mais dans lesquelles ces chaussées s'étaient enfoncées.

La tourbe se trouve en lits très-puissants, qui ne sont généralement recouverts que par des plantes ou des touffes de *sphagnum*, mais on voit aussi des tourbières cachées sous des conches de sable et de la tourbe alterner avec des lits de gravier.

Un des plus savants géologues de notre époque, M. Boué, a publié sur les tourbières des détails pleins d'intérêt, et qui peuvent s'appliquer à toutes celles du nord de l'Europe, quoiqu'ils lui aient été suggérés par celles de l'Écosse :

» Lorsque les amas d'eau sont peu profonds, ou que les alluvions qui y ont été charriées sont parvenues à diminuer leur profondeur, on voit redoubler l'activité de la végétation

des plantes aquatiques et marécageuses qui auparavant ne déposaient qu'un peu de boue sur leurs bords et étaient réduites à quelques roseaux et à quelques autres plantes appartenant principalement aux familles des joncs et des cypéracées.

» C'est alors qu'on voit paraître sur l'eau ces *lemma minor* et *trisulca*, ces *callitriches*, ces *potamogeton*, etc., tandis que sur les bords, des plantes cryptogames marécageuses, et surtout le *sphagnum*, viennent peu à peu former des gazons serrés qui, en s'accumulant les uns sur les autres, et s'altérant par des décompositions, deviennent des tourbes où l'on distingue encore parfaitement leur origine végétale; petit à petit, ces masses s'avancent, chassent les roseaux et les plantes aquatiques, et viennent même à recouvrir une partie de la surface de l'eau sur les bords, d'où résultent accidentellement ces îles flottantes, qu'on voit, par exemple, dans le lac Dochart vers le nord.

» Enfin, à force de temps, l'amas d'eau se change en un marais tourbeux, dans lequel s'accumulent, couche sur couche, des tourbes de différentes qualités, suivant leur ancienneté et suivant les substances accidentelles qui sont venues s'y mêler.

» La partie subalpine du comté de Kircdubright présente parfaitement tous les degrés de ce travail de la nature, et ainsi a été comblé ce lac qui s'étendait dans la vallée de Dumfries depuis Tinwald jusque près de l'embouchure de la Lochar, et ainsi se sont formées tant d'autres tourbières si abondantes en Écosse.

» Outre les débris arénacés, charriés dans les lacs, et la végétation des plantes aquatiques et marécageuses, les ruisseaux y amènent des eaux si chargées de matières animales et végétales qu'elles donnent une teinte noirâtre au fond de la plupart des lacs écossais, et les mollusques qui habitent les lacs et les marais produisent par leur mort une certaine quantité de particules calcaires, qui se mélangent avec des parties argileuses pour former des marnes, et viennent naturellement à s'intercaler entre des couches de tourbe.

» C'est ainsi que se sont formés ces alternats de couches tourbeuses et marneuses que

l'on voit dans tant d'endroits de l'Écosse, comme par exemple, près de Saint-Andrew, où la marne contient des débris de coquilles, et dans le comté de Perth, de Ross et d'Angus¹. »

On trouve en Hollande beaucoup de tourbe de ce genre, ainsi qu'en France, dans la vallée de la Somme et dans plusieurs autres lieux.

Indépendamment de cette variété de tourbe, qui est la plus commune, M. Boué en distingue trois autres, qui se retrouvent non-seulement en Écosse, mais dans beaucoup d'autres contrées. Ce sont :

1° La tourbe des montagnes et des lieux humides ; 2° la tourbe des forêts ; et 3° la tourbe des bords de la mer.

La première de ces variétés existe dans les lieux montagneux, et avec quelques modifications, dans les vallées élevées. Elle forme des couches moins puissantes que les précédentes, brûle avec moins de facilité, et doit son origine aussi à des *sphagnum*, mais qui sont accompagnés de plusieurs espèces de plantes montagneuses, comme des *vaccinium*, des *arbutus*, des *erica*, etc. Cette tourbe, commune en Écosse, se retrouve dans les Alpes, dans les Vosges, en Auvergne, etc.

« Les tourbes des forêts varient extrêmement, suivant la quantité de plantes qui ont servi à les produire, et suivant les autres circonstances accidentelles de leur position ; elles sont formées par la décomposition de plusieurs des plantes précédentes, de beaucoup de mousses et de lichens, de feuilles et de petites branches des arbres les plus communs de l'Écosse, telles que le chêne, le pin, l'orme, le bouleau, et d'autres arbres moins ordinaires, comme le frêne, le noisetier, et différentes espèces de saules. Cette variété de tourbe est assez abondante en Écosse, sur le flanc des montagnes, par exemple, dans le district de Braemar, dans les environs de Fraserburg, dans le comté d'Aberdeen et ailleurs : elle est recouverte maintenant de bruyères, et renferme un grand nombre de troncs d'arbre, coupés par la main des hommes, ou tombés naturellement, et souvent ils sont d'une grosseur que l'on ne

trouve que rarement dans les forêts écossaises actuellement-existantes. » C'est aussi dans ce genre de tourbières, qui approche le plus de certains dépôts de lignite, qu'on a trouvé des restes de mammifères qui habitaient autrefois ou qui existent encore maintenant en Écosse, ainsi que différents produits de la main des hommes, tels que des chaussées de bois, des instruments, etc.². »

« Les tourbes des bords de la mer n'y occupent que de petits espaces, et se forment quelquefois par la décomposition des plantes croissant dans les marais salants, ou sur les bords marécageux des plages. Les principales sont le *glauz maritima*, *juncus maritimus*, *aster trifolium*, *schœnus mariscus*, *arenaria peploides*, *scirpus holoschœnus* et *maritimus*, *scirpus triquetus*, *matricaria maritima*, *statice armeria*, *artemisia maritima*, *bunias cakile*, *chénopodium maritimum*, *salicornia herbacea*. »

Il faut ajouter à ces plantes le *sostera marina*, qui, par ses longues feuilles et ses gazons sous-marins, contribue beaucoup à donner naissance à cette sorte de tourbe. M. Boué en a observé des dépôts sur les côtes du midi de l'Écosse. Ils alternaient avec des sables, des marnes et des dépôts boueux, surtout au fond des baies qui reçoivent un torrent comme West-Tarbet, et dans l'île d'Isle.

Il faut rapporter à cette espèce de tourbe celle qui a été découverte dernièrement par M. Coquand, entre la Chaume et les Granges, dans un terrain d'alluvion submergé par l'Océan. Ces tourbières paraissent occuper un espace considérable, que les sables qui les recouvrent vers la côte réduisent à 860 toises de long environ, sur 500 de large ; elles sont situées entre les stéaschistes au sud, et le calcaire jurassique au nord, et sont redevables de leur état de conservation à la protection que leur prêtent ces roches contre les érosions des lames. La tourbe est brune, noirâtre, formée par l'accumulation de diverses plantes marines, qui paraissent se rapporter à des ulves et à des fucus, et composée de plusieurs couches qui, se divisant avec facilité, donnent à l'ensemble de la roche une apparence schisteuse. Les parties les plus profondes présentent une matière compacte, ré-

¹ Boué, *Essai géologique sur l'Écosse*, p. 342.

² Boué, p. 345.

duite en pâte assez homogène, à cassure terreuse, tandis que celles exposées à la surface se distinguent par une couleur moins foncée, et laissent apercevoir, moins décomposées, les plantes qui ont concouru à leur formation. Desséchée au soleil, la tourbe éprouva un retrait considérable, qui fendit la masse en tous les sens et la divisa en feuillets racornis; elle brûle avec facilité, en dégageant une mauvaise odeur et une fumée blanche, en donnant pour résidu une cendre très-légère, qu'on a rendue très-utile à l'agriculture. Elle repose en bancs épais de 10 à 12 pouces, sur un lit formé de terres d'alluvions, dans lequel on distingue avec des fucus, des coquilles d'eau douce (hélices, paludines) mêlées avec des coquilles qui vivent dans la vase des marais salants, bucardes, etc., circonstance qui lui assigne le même âge qu'aux terrains d'alluvion situés en deçà des dunes. Ce lit terreux participe de la nature de la tourbe jusqu'à un certain point; si, comme elle, il n'est point carbonisé, il renferme cependant, quoiqu'en moins grande quantité, des plantes marines, qui n'ont pas subi de décomposition; il présente en outre la structure schisteuse, et brûle avec beaucoup de difficulté; on dirait une tourbe blanchâtre, quo des circonstances particulières auraient empêchée de se carboniser, comme celle qui lui est superposée, et qui constitue la véritable tourbe¹.

Nous avons fait remarquer que les tourbières renfermaient quelquefois des troncs d'arbre très-volumineux; mais il existe dans des terrains analogues à ceux qui renferment les tourbes, des forêts tout entières qui sont ensevelies. On en a trouvé une près Paris au Port-à-l'Anglais, et elle est très-commune sur les bords des grands fleuves de l'Amérique, où elles se forment journellement, ainsi qu'on en a la preuve, dans les charriages continus de ces fleuves, et comme le rapporte d'ailleurs M. de Humboldt.

« Notre canot toucha plusieurs fois dans la matinée. Les secousses, lorsqu'elles sont très-violentes, peuvent fendre de frêles embarcations; nous donnâmes sur la pointe

de plusieurs grands arbres qui, pendant des années entières, restent dans une position oblique enfoncés dans la vase. Ces arbres descendent du Sararé, à l'époque des grandes inondations. Ils remplissent tellement le lit de la rivière, que les pirogues, en remontant, ont quelquefois de la peine à se frayer un passage par les hauts-fonds où il y a des tournants¹. »

Ces forêts souterraines sont très-communes sur les bords de la mer, où on les a fréquemment observées, soit en France, soit dans les îles Britanniques. Nous citerons comme exemple celle de Morlaix, dans le département du Finistère.

« Je me rendis sur le terrain au moment même d'une tempête, pendant les horribles ouragans du mois de février 1811; je fus favorisé par une grande marée qui me donna l'avantage de pousser mes recherches plus avant vers le fond de la mer.

« La plage sur laquelle je me rendis forme un immense demi-cercle; son fond, dans sa partie la plus reculée, est terminé par des montagnes granitiques, presque sans végétation. La mer ne vient point jusqu'au pied de ces montagnes; elle s'est opposé une digue naturelle d'environ 50 pieds de hauteur, composée de galets, parmi lesquels se trouvent presque toutes les variétés de quartz. Au pied de cette digue, commence une grève magnifique; sa pente est d'environ deux lignes par toise; je l'avais toujours vue couverte du sable le plus fin, le plus uni et le plus blanc. Ma surprise fut extrême lorsqu'un lieu d'un sable éblouissant, je trouvai un terrain noir et labouré par de longs sillons; j'examinai ce terrain avec attention, et je ne tardai pas à reconnaître les traces de la plus longue et de la plus ancienne végétation; la mer avait emporté le sable.

« Ce sol, ordinairement si uni, présentait des ravins profonds, qui me donnaient les moyens d'observer les différentes couches qui le composent; la première variait d'épaisseur en raison des dégradations que la mer lui avait fait éprouver; elle était entièrement composée de détritus de végétaux. Les feuilles

¹ Communication de M. Coquand à la Société géologique, séance du 11 janvier 1850; et *Institut*, 4^e année, p. 211.

¹ Humboldt, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. VI, p. 224.

d'une plante aquatique y sont très-abondantes et les mieux conservées; elles sont presque à l'état naturel. J'ai obtenu quelques feuilles assez distinctes d'arbres forestiers et de saule. La terre qui forme le sol, ayant été exposée aux influences alternatives de la pluie et du soleil, s'est gercée et fendillée, et j'y ai trouvé des fragments d'insectes très-bien conservés : une chrysalide entière, la partie inférieure d'une mouche avec son aiguillon.

« Su : la couche noire et compacte dont il s'agit, on voyait des arbres entiers renversés dans tous les sens; ils sont pour la plupart à l'état de terre d'ombre; cependant les nœuds, en général, ont conservé de la consistance, et la qualité des bois est très-reconnaissable. L'if a conservé sa couleur, ainsi que le chêne, et surtout le bouleau, qui s'y rencontre en grande abondance; il a conservé son écorce argentée. Le chêne prend promptement à l'air une teinte noire, très-foncée, et acquiert de la dureté; desséché, il brûle avec une odeur fétide. J'ai obtenu des mousses vertes comme dans leur état de végétation.

« Cette même couche, reste de la plus forte végétation, est superposée à un sol qui me semble avoir été une prairie. J'y ai trouvé des roseaux, des racines de jonc, des asperges : toutes les plantes sont en place; leur tige est perpendiculaire; j'ai pris des racines de fougères qui ont encore le duvet, qu'elles perdent ordinairement au moment où leur végétation cesse. Le sol de la prairie dont je viens de parler est un composé de sable et de glaise grise; il se prolonge très-avant dans la mer; j'en ai retiré des joncs qui avaient encore leur substance médullaire; mais, à cette distance, il n'y a plus de vestiges de la forêt, et j'ai trouvé le roc vif. C'est aux pointes que ce roc présente, et à la résistance qu'il oppose aux efforts de la mer, qu'on doit la conservation de ce qui reste de la forêt.

« Je poursuivis mes recherches sur une étendue de grève d'environ sept lieues; je retrouvai souvent le premier sol, quelquefois le second, et presque sur toute cette étendue, la preuve de l'existence d'une immense forêt. Faute d'une tarière, il m'a été impossible de faire des recherches plus exactes. Une particularité assez remarquable, c'est que, parmi les débris de cette forêt apportés sur la grève,

j'y ai trouvé la moitié d'un coco. Je me propose, cet été, de faire d'autres recherches.... »

Le R. J. Yates a décrit aussi une ancienne forêt de *pinus sylvestris* qui a été en partie submergée, près de l'embouchure de la rivière Dovey, par suite de la démolition accidentelle d'une digue. Un cas semblable a déjà été constaté par M. Harris, sur les rives du Hampshire; et l'on peut dire que les phénomènes de ce genre sont assez nombreux pour permettre d'établir qu'il existe presque à l'entour de l'Angleterre et de l'Écosse une frange sous-marine couverte de bois et de forêts.

On est, du reste, très-embarrassé pour expliquer la position de ces forêts sous-marines, surtout s'il est bien constaté, comme les faits semblent le prouver, que les arbres y sont droits et dans leur position naturelle. On comprend bien le dépôt de grands arbres culbutés et charriés par les fleuves, et ensuite ensevelis dans la vase à l'embouchure des rivières, mais on ne conçoit pas l'enfouissement d'une grande zone de terre tout autour de l'Angleterre et de l'Écosse. On cherche à expliquer ce phénomène par un affaissement du sol, produit par une secousse violente ou par un grand nombre de petites secousses répétées. Ces affaissements doivent se lier à la théorie des soulèvements, mais il sera toujours difficile d'admettre que l'Angleterre, l'Écosse, et les côtes de France, se soient toutes abaissées précisément de la quantité nécessaire pour placer les cimes des forêts dont les côtes étaient couvertes, au-dessous des limites que la mer atteint dans ses marées.

Il y a dans tout ce que nous venons de dire un fait réel et que l'on ne contestera pas, c'est l'enfouissement continu des matières végétales; et du moment que ce fait est admis, on ne sera pas étonné de voir qu'il s'est toujours présenté depuis que la terre est couverte de végétaux; et l'on verra avec moins

* Extrait d'une lettre de M. de La Fruglaye à M. Gillet-Laumont, sur une forêt sous-marine qu'il a découverte près Morlaix (Finistère), en 1811. *Journal des Mines*, novembre 1811.

* Société géologique de Londres, séance du 15 février 1833.

d'étonnement rapporter à leur décomposition la plupart des matières charbonneuses qui sont intercalées dans les couches plus anciennes. Ainsi les *lignites*, les *houilles*, l'*anthracite*, une partie des *bitumes*, n'ont probablement pas d'autre origine.

Il y a même parmi les autres substances minérales quelques matières qui, selon toute apparence, proviennent de végétaux. Tel est, par exemple, le succin ou ambre jaune.

On présume avec beaucoup de vraisemblance que le succin n'est autre chose qu'une résine altérée par son long enfouissement, ou par l'action de matières étrangères. Il y a des morceaux de cette substance, qui offrent une forme analogue à celle de certaines gommes et résines, et qui semblent avoir coulé des arbres comme celles-ci. Cette opinion a acquis encore plus de probabilité, depuis que l'on a découvert que l'acide succinique existe dans les térébenthines. On sait d'ailleurs que la résine qui découle des arbres, peut pénétrer dans le sol et s'y conserver indéfiniment. C'est ainsi qu'on découvre à 8-6 pouces de profondeur, entre les racines de l'*Hymenaea courbaril*, des masses de résine animée (faussement appelée *copal*). On les a prises quelquefois pour du succin trouvé dans l'intérieur des terres¹.

Les chimistes admettent depuis longtemps cette idée sur la production du succin. Quelques naturalistes, remarquant le grand nombre d'insectes que l'on y rencontre enchâssés, avaient d'abord pensé que c'était du miel fossile²; mais une résine primitivement gluante peut expliquer tout aussi facilement l'abondance de ces animaux.

Le diamant, qui, comme on sait, est du carbone pur, a aussi été considéré par le savant professeur Jameson comme ayant une origine végétale, et dernièrement encore cette idée vient d'être reproduite par M. Brewster, qui, en comparant les propriétés polarisantes du diamant et de l'ambre, s'est assuré que ces deux substances contiennent des celluloses

remplies d'air, et que le diamant a dû être mon. Sa mollesse n'a pas dû provenir d'une fusion ignée, mais elle a été semblable à celle d'une gomme demi-endurcie, ce qui rend probable que le diamant est, comme l'ambre et le mellite, un produit de décomposition végétale. En effet, les autres substances naturelles ou artificielles créées par la voie aqueuse ou la fusion ignée, et renfermant des cavités pleines d'air, offrent des propriétés de polarisation totalement différentes³.

ACTIONS ANIMALES.

Dès que la terre a été peuplée de végétaux, les animaux ont dû paraître et se multiplier. On trouve, en effet, dans les conches de sédiment les plus anciennes, des restes qui appartiennent évidemment au règne animal; et il serait peut-être bien difficile de prouver que des végétaux aient précédé ces espèces.

De nos jours, les dépôts qui sont formés par les animaux ont fort peu d'importance. Ils consistent en quelques sables, en couches très-limitées, provenant de la décomposition des coquilles, en excréments d'oiseaux, et en masses plus volumineuses formant des îles ou des rescifs dans certaines mers, et qui sont ducs au travail de quelques polypiers.

Les sables qui proviennent de la décomposition des coquilles marines sont rarement purs, ils sont généralement mélangés de détritus appartenant au règne inorganique, et d'ailleurs ils ne s'étendent jamais bien loin. Les plus remarquables sont ceux que M. Robert a trouvés sur les côtes d'Islande. Les vagues qui viennent avec violence les apporter et les briser sur le rivage, réduisent si bien les coquilles en poudre fine, que ces sables ressemblent tout à fait à du son; le vent les rassemble ensuite, et en forme des dunes rouges, qui s'élèvent bien au-dessus du niveau actuel de la mer et des plus fortes marées.

Les dépôts formés par les excréments des oiseaux sur quelques îlots sont composés d'une matière connue sous le nom de *guano*. Cette substance se trouve très-abondamment dans la mer du Sud, aux îles de Chinché,

¹ Schweigger, *Beob.* 1819, p. 104, cité par Humboldt.

² Giliberti cite un ancien chapelet à l'espagnole fait en succin, et dont chaque grain renfermait un insecte. C'était, dit-il, une véritable collection entomologique.

³ *Lond. o. Edimb. philos. mag.*, v. III, n° 13, p. 219.

près de Pisco, où MM. de Humboldt et Bonpland l'ont trouvée ; mais elle existe aussi sur les côtes et îlots plus méridionaux, à Ilo, Iza et Arica. Les habitants de Chancay font un commerce considérable de cette substance qui renferme une grande quantité d'acide urique, et qui sert d'engrais pour la culture du maïs et de plusieurs autres végétaux.

Le guano forme des couches de 30 à 60 pieds d'épaisseur que l'on travaille comme des mines de fer ocracé. Les îlots où on le recueille sont habités par une multitude d'oiseaux appartenant principalement aux genres *ardea* et *phénicoptère*, qui y couchent la nuit ; mais leurs excréments n'ont pu former, depuis trois siècles, que des couches de 4 à 5 lignes d'épaisseur, en sorte qu'on ne sait pas positivement si le guano appartient réellement à l'époque actuelle.

On a bien trouvé aussi dans plusieurs cavernes de petites conches de matière animale, formées par les excréments de divers animaux, et notamment par ceux des hyènes et des chauves-souris ; mais ces dépôts sont si peu abondants qu'il est presque inutile de les mentionner.

Les créations actuelles, faites par les polypiers, sont beaucoup plus importantes, quoiqu'on ait exagéré leur étendue. Il y a des archipels tout entiers qui en sont garnis, et sur lesquels ces animaux ont déposé des conches calcaires d'une certaine épaisseur.

Les polypiers vivent principalement sous les zones chaudes du globe ; on ne les retrouve plus dans les régions voisines des pôles, ou du moins ils n'y forment jamais de vastes concrétions comme celles qu'ils présentent dans les pays chauds.

Toutes les espèces ne possèdent pas, à beaucoup près, la faculté de former des îles ou des couches puissantes. Ceux qui jouissent de cette prérogative appartiennent principalement aux genres *Astrea*, *Meandrina* et *Caryophyllia*. On les trouve dans toutes les mers dont les eaux peuvent atteindre à la surface une certaine température. Les formations corallines sont communes dans la mer Rouge ; où M. Erhenberg les a observées avec soin. Les bancs de polypiers commencent au port de Tor et finissent à l'Arabie Heureuse. Ils se tiennent à 2 ou 3 mètres au-dessous du ni-

veau de la mer. Leur surface est très-unie, sauf les intervalles qui se trouvent entre leurs branches. Les bancs sont allongés dans le sens du rivage, et il y en a souvent plusieurs bandes. Sur la côte d'Égypte, il y en a peu, parce que la mer est profonde et qu'il s'y fait des dépôts sédimentaires. L'accroissement de ces bancs de polypiers est extrêmement lent, et l'on a calculé qu'ils pouvaient tout au plus s'accroître d'un millimètre et demi par an ; et M. Erhenberg pense que les masses madréporiques, qu'il a étudiées dans la mer Rouge, sont encore les mêmes que celles qui existaient du temps de Pharaon.

Les bancs de polypiers, qui sont dans l'Océan Pacifique, croissent plus rapidement, d'après les recherches de MM. Quoy et Gaymard, qui ont publié d'intéressantes observations sur ce sujet¹. Ces savants ont observé que, dans les régions où la chaleur est intense et où les rivages sont découpés par des baies dans lesquelles les eaux sont tranquilles et peu profondes, les polypes saxigènes prennent un accroissement considérable, en incrustant les roches inférieures. On en trouve un grand nombre dans la mer des Indes, dans le canal de Mozambique, et aux îles Maldives et Laquedives. Ces dernières ne sont, pour la plupart, que des masses de polypiers. Il y en a des bancs puissants dans les Antilles ; ils forment de grands rescifs à Bahama, et constituent cette infinité de petites îles appelées *Cayos* qui avoisinent l'île de Cuba. A la Guadeloupe, ils entrent dans la composition des couches calcaires qui se forment journellement. Les îles Sandwich et une grande quantité d'îlots de l'Océanie doivent leur origine au travail des polypiers. L'île d'Oahu, l'une d'elles, est remarquable par la disposition étagée de plusieurs bancs de coraux, qui s'élèvent à mesure que l'on avance dans l'intérieur de l'île, tandis qu'ils s'abaissent sous les eaux à mesure qu'on s'en éloigne ; mais on reconnaît encore leur présence aux lignes successives d'écume blanche qu'ils occasionnent. L'espace entre les rangées est rempli de sable corallin, qui s'élève souvent sous forme de dunes. La matière pierreuse des rescifs est tantôt celluleuse et tendre, d'une

¹ *Annales des Sciences natur.*, t. VI, p. 273.

couleur de paille, et paraît à la loupe composée de fragments réunis en grappes, et facilement désagrégée par l'air; tantôt plus dure, plus compacte, d'une couleur grisâtre et d'une cassure granuleuse. Le sable qui forme les vastes plaines autour de ces rescifs, est d'une blancheur éblouissante, et consiste en très-petites particules de fragments de coquilles, de calcaire et d'une roche probablement volcanique; le sol cultivable est formé de ce sable ou de lave décomposée; il est dans les deux cas si poreux, que si l'arrosement n'en est pas constant, il est entièrement stérile¹.

Un fait remarquable, c'est que presque toutes les îles madréporiques sont circulaires et présentent dans leur centre, une petite dépression remplie d'eau qui est ordinairement saumâtre. Cela tient à ce que les polypes se plaisent la plupart dans les courants. Ceux qui se trouvent sur les bords du massif, exposés à l'action des lames, croissent donc plus rapidement et avec plus de vigueur; ceux du centre au contraire languissent et ne peuvent se développer, non plus que ceux qui se trouvent dans le sens opposé à la direction ordinaire des flots. Il en résulte que la masse madréporique prend une forme de fer à cheval, qui rappelle un peu celle de certains cratères (Fig. XVIII)².

La position relative des îles est aussi fort singulière, en ce que souvent elles sont aussi disposées en fer à cheval ou en cercle. MM. Quoy et Gaynard pensent que cette disposition circulaire de quelques groupes est due à des cratères sous-marins sur la crête desquels les polypes ont édifié leurs massifs.

Tous ces bancs offrent à leur partie supérieure la structure des polypiers qui les ont formés, et l'on retrouve dans la composition des calcaires, une certaine quantité de matière gélatineuse. A mesure que l'eau s'enfonce, ce caractère disparaît, la roche devient massive, ressemble d'abord du calcaire coarcté, et enflu à du calcaire très-compacte. Près de

Djeda, sur les côtes de la mer Rouge, on extrait d'un banc semblable des pierres dont le volume est énorme. Ces bancs ont toujours une position très-horizontale, et l'on trouve en France, dans les terrains calcaires, déjà fort anciens, de la Normandie et de la Côte-d'Or, des assises de même nature, qui présentent aussi la même situation.

Quoiqu'on ait exagéré l'étendue des îles qui étaient entièrement formées de coraux, ils forment cependant des terrains qui occupent encore un assez grand espace; ainsi les Maldives sont plus étendues que les Alpes. Il paraît que le genre *astrea* est le seul qui puisse élever d'aussi immenses terrains.

On avait supposé, en voyant ces îles madréporiques s'élever au-dessus des flots, qu'elles s'élargissaient beaucoup en s'enfonçant, et qu'elles n'étaient que le sommet de vastes montagnes dont la base touchait au fond de la mer, et qu'elles étaient entièrement l'œuvre des polypiers. Des observations récentes ont démontré l'impossibilité d'une telle supposition; car on a reconnu que les polypiers, créateurs de ces montagnes, ne pouvaient pas vivre au-dessus de la surface de l'eau, et qu'il leur était impossible aussi de construire leurs singuliers édifices à une profondeur telle que la lumière ne puisse pas les atteindre. Ainsi, à 200 mètres de profondeur, il n'existe plus de polypiers, et toutes les observations tendent même à faire supposer que les couches que l'on voit à fleur d'eau ne descendent pas à 10 mètres au-dessous. Il paraît que c'est à cette profondeur que ces animaux commencent à bâtir, et que de longtemps ils n'atteignent la surface. Aussi ils bordent seulement les îles quand elles ont une certaine étendue, c'est-à-dire qu'ils commencent à se développer le plus près possible de la surface de l'eau, en s'appuyant sur le prolongement sous-marin de l'île, et ensuite ils s'en éloignent en gagnant toujours en profondeur. C'est ainsi qu'ils se forment tout autour des ceintures interrompues, que l'on appelle rescifs, et qui sont séparés du centre par de petits bras de mer. Ces bancs sous-marins deviennent, en approchant de la surface, des écueils fort dangereux et très-communs dans certaines mers.

Malgré ce que nous venons de dire du tra-

¹ Esquisse géognostique sur l'île de Oahu, l'une des Sandwich, par M. Gairdner. (*Edinb. new philos. Journal*, 1835, n° 2. — *Biblioth. univ.*, 1836, n° 2.)

² ELIE DE BEAUMONT. Résumé de son Cours, l'*Herminet*, 5^e année, p. 305.

vail des polypiers, et de l'impossibilité où ils se trouvent d'élever leur demeure au-dessus des eaux, on ne voit pas moins un grand nombre d'îles madréporiques, qui ont atteint une très-grande élévation au-dessus du niveau des mers. Si l'on se rappelle que souvent les bancs de coraux sont établis sur des terrains volcaniques, on concevra sans peine que des tremblements de terre ou des éruptions sous-marines puissent les soulever et les maintenir à une certaine hauteur, et nous verrons, en parlant des soulèvements, que de tels phénomènes peuvent encore avoir lieu de nos jours. Il paraît pourtant que l'on n'a pas besoin de faire intervenir cette force pour expliquer de petits exhaussements des masses madréporiques; l'action des vents et des vagues suffit pour en rendre raison.

Un grand nombre d'îles, comme les Maldives, les Bermudes, sont à sec aux basses marées. Les débris qui s'y trouvent répandus sont repris et entassés par le vent. Il se forme ainsi petit à petit des couches et des dunes émergées, sur lesquelles la végétation commence à se développer. Des graines, charriées par les courants, s'y arrêtent, y prospèrent, et bientôt le règne végétal s'élève sur les débris des animaux. Dès qu'une petite portion d'île est émergée, l'élévation continue, et un archipel entier peut naître ainsi au milieu des flots par la seule action du règne organique.

M. Nelson assure qu'il peut se former ainsi des îles qui atteignent jusqu'à 250 pieds d'élévation, et dont les couches, inégalement distribuées par les vents, présentent des ru-

diments de montagnes et de vallées. M. Nelson cite pour exemple les Bermudes, dont les couches, formées de cette manière, offrent un singulier mélange de coquilles marines et terrestres, de débris de plantes, d'oiseaux et de tortues¹.

Lorsque par la suite nous étudierons les caractères des anciennes roches de sédiment, nous verrons paraître successivement une grande quantité de dépôts à la formation desquels les animaux ont contribué. Nous retrouverons les polypiers à différents étages, et nous verrons les coquillages autrefois si abondants au milieu des eaux chaudes de l'Océan, former, presque à eux seuls, des assises subordonnées aux bancs puissants, qui proviennent de la décomposition des roches préexistantes.

¹ C'est sans doute à un phénomène analogue qu'il faut rapporter l'exhaussement de l'île de Oahu. Voici ce qu'en dit M. Gairdner : « Un fait curieux, c'est l'élévation des rochers de coraux; dans quelques localités, ils dépassent de 30 pieds le point le plus élevé qu'atteint maintenant le niveau de la mer. Cependant ils ont dû être submergés lors de leur formation, puisque les polypes ne peuvent vivre hors de leur élément. Faut-il y voir un abaissement graduel de l'Océan, ou bien de ces relèvements insensibles dont on a cru trouver déjà tant d'exemples? Quoi qu'il en soit, à mesure qu'on s'éloigne de l'île, les masses corallines que l'on aperçoit longtemps deviennent plus profondes, et elles l'entourent de plusieurs ceintures de récifs qui viennent à mesure qu'on s'avance à rompre considérablement l'étendue. » (*Edinb. new philos. Journal*, 1835, n° 2. — *Biblioth. univ.*, 1836, n° 2.)

CHAPITRE SEIZIÈME.

QUELQUES CONSIDÉRATIONS SUR LES FORCES AGISSANTES, QUI VIENNENT D'ÊTRE ÉTUDIÉES, ET SUR LES DÉPÔTS DES TERRAINS DE SÉDIMENT.

Les faits nombreux que nous venons de rapporter prouvent à l'évidence que les dépôts qui se forment actuellement, sont le résultat d'une foule d'actions partielles, qui doivent faire varier à l'infini les caractères des terrains qui sont créés journellement par elles. Ainsi, d'un côté l'action de l'air et des eaux, qui active la décomposition des roches, les pluies et les ruisseaux qui en charrient les fragments, les mers qui rongent les côtes, et les grands fleuves qui déposent à leur embouchure les débris des continents; de l'autre, les forces vitales constamment occupées à créer des plantes et des animaux, qui meurent et laissent leurs dépouilles au milieu des détritons arrachés aux montagnes, toutes ces actions journalières doivent nous démontrer que tous les terrains de sédiment doivent être composés d'une masse énorme de débris des trois règnes.

Les mêmes forces qui agissent aujourd'hui avaient sans doute autrefois une intensité bien plus grande, puisque les terrains de sédiment anciens sont plus puissants et plus étendus que les nouveaux; mais quand on cherche à connaître leur composition, on remarque bientôt qu'elle est la même que celle des terrains modernes, et qu'il suffit d'augmenter l'action des causes actuelles, pour se rendre parfaitement raison de leurs plus grands résultats.

Ces petits dépôts, qui se forment aujourd'hui à l'embouchure des rivières et des fleuves, ces plaines couvertes de sables et de cailloux, abandonnées par les eaux, recouvrent d'autres terrains formés de la même manière, à des époques antérieures, et prouvent que de grands amas d'eau et d'immenses courants ont existé sur la terre.

Ces dépôts comblent de très-grands bassins creusés au milieu des roches cristallines, et ont souvent une épaisseur de plusieurs centaines de mètres et quelquefois de plus de mille. Ils occupent les dépressions d'un sol créé par des forces tout à fait différentes de celles auxquelles ils doivent leur origine.

On remarque dans chacun de ces dépôts, une série de couches posées les unes sur les autres, et souvent même passant par nuances insensibles de l'une à l'autre. Quelquefois un retour périodique de couches alternativement minces et épaisses, argileuses ou calcaires, colorées de teintes qui successivement reviennent les mêmes, indiquent dans les dépôts une alternance, qui doit dépendre de causes particulières.

Nous retrouvons pour les couches actuelles des phénomènes analogues, dans les crues périodiques des grands fleuves qui amènent à leur embouchure ou dans les lacs qu'ils traversent, des dépôts abondants pendant la saison des pluies, et peu considérables en tout autre temps.

Les anciens dépôts de sédiment s'opéraient comme les nouveaux. On trouve dans chaque formation une couche de grès ou des fragments assez volumineux qui occupent la partie la plus basse; au-dessus viennent les sables et les grès à grains fins, puis des calcaires et des argiles, dont les particules extrêmement fines restaient suspendues les dernières, et se déposaient enfin en couches homogènes et uniformes.

Les assises qui composent les anciens terrains de sédiment sont beaucoup plus denses que les dépôts actuels, et l'on conçoit très-bien qu'étant comprimées par de grandes masses d'eau, elles ont dû se tasser et présenter une

texture plus compacte que les alluvions actuelles qui sont souvent tout à fait incohérentes et qui, en effet, n'éprouvent d'autre pression que celle de l'atmosphère. Ces roches de sédiment devaient, d'ailleurs, être beaucoup plus compactes que les autres, parce que les actions chimiques étant aussi plus intenses, presque toutes étaient douées d'un ciment calcaire dont la plupart des roches modernes sont maintenant dépourvues.

Les forces organiques étant aussi plus actives, les fossiles devaient être plus nombreux, et c'est effectivement ce que l'on observe. Les êtres organisés ont laissé dans toutes ces couches, une énorme quantité de débris parfaitement reconnaissables et disséminés dans la plupart des assises de ces terrains de sédiment; peut-être même est-ce à la décomposition des animaux qu'il faut attribuer l'odeur fétide qu'exhalent, par le frottement, la plupart des roches calcaires.

Les végétaux ont non-seulement laissé leurs fruits et de nombreuses empreintes dans les anciens terrains de sédiment; mais moins altérables que les animaux, ils se sont trouvés presque entiers dans certaines couches, d'où l'on retire maintenant une grande quantité de matières combustibles. Aussi, depuis les tourbières et les forêts souterraines, dans lesquelles les plantes ont conservé presque tous leurs caractères, jusqu'aux dépôts de houille et d'anthracite, qui n'offrent plus qu'un tissu compacte ou une structure fragmentaire, on observe une série de nuances ou de degrés d'altérations qui prouvent qu'à des époques différentes les végétaux ont été soumis à des forces d'autant plus intenses, qu'elles s'éloignent davantage de l'époque actuelle, quoique cependant ces forces aient les plus grands rapports avec nos petites actions contemporaines.

L'examen des fossiles végétaux et animaux est de la plus grande importance dans l'étude de ces terrains, et l'on remarque avec surprise qu'à mesure que l'on s'éloigne de la surface de la terre, c'est-à-dire de l'époque actuelle, les débris organiques que l'on rencontre appartiennent à des animaux plus différents de ceux qui existent maintenant; en sorte que la faune et la flore de ces anciens temps où se déposaient les premiers terrains de sédi-

ment, ne ressemblaient en rien à la création de notre époque. Si, dans les dépôts récents, on trouve des espèces semblables à celles qui vivent encore, c'est dans les contrées les plus chaudes de la terre qu'il faut aller chercher les identiques, et tout nous prouve que cette grande puissance de vie qui se manifeste encore, sous la zone torride, était alors répandue sur toute notre planète, dont la température doit s'être graduellement abaissée.

L'examen de tous ces débris fossiles qui abondent dans les terrains de sédiment, a fait faire une remarque très-curieuse; c'est qu'une partie s'est déposée dans la mer et une autre partie sous les eaux douces. Il y a donc eu autrefois de grandes mers qui couvraient la surface actuelle des continents, ou au moins de grands lacs d'eau salée, et il y a eu aussi de grands lacs d'eau douce.

Dans les uns et les autres de ces lacs se sont déposées des couches de sédiment, comme très-probablement il s'en dépose actuellement au fond des mers et des grands bassins, et il est tout naturel que les débris d'êtres organisés qui tombent au fond de l'eau ou qui sont entraînés par des courants jusque dans les lieux les plus profonds, soient emportés par les sédiments qui s'y déposent en même temps. En sorte que l'on peut très-bien se rendre raison de la création de toutes les couches des terrains de sédiment et de l'accumulation de tous ces débris dans les grands lacs qui existaient alors, par la simple application des forces actuelles, en augmentant toutefois graduellement leur intensité.

Quant aux causes qui ont émergé ces terrains autrefois plongés sous des mers profondes; quant à celles qui ont brisé leurs couches et ouvert au milieu d'elles des fentes et des cavernes en partie vides encore et en partie comblées, qui ont relevé les couches dans toutes sortes de directions, et élevé des restes de coquillages jusqu'aux sommets des montagnes, elles viennent encore se ranger dans les causes actuelles augmentées de puissance, mais elles n'appartiennent pas à la division des forces extérieures qui nous ont occupé dans cette dernière partie de notre travail.

Il y a cependant une circonstance qui mérite de fixer ici toute notre attention, c'est le

mélange dans les mêmes couches ou dans des assises superposées de corps marins et d'animaux vivant dans les eaux douces. Il est facile de concevoir que des roches formées sous les eaux de la mer, et contenant les débris de ses habitants, puissent être reconverties par des conches évidemment déposées dans les eaux douces; car un accident ou une secousse violente a pu émerger une portion de terrain sous-marin, et les eaux douces ont pu ensuite l'occuper pendant longtemps; mais il est plus difficile de comprendre l'alternative des couches formées sous les eaux douces et sous les eaux salées. C'est cependant ce que l'on remarque dans quelques localités, et ce que l'on a surtout bien observé dans le bassin où est bâtie la ville de Paris.

Quelquefois les débris qui proviennent de corps marins se trouvent mélangés avec des restes d'animaux qui ont vécu dans les eaux douces ou sur la terre; d'autres fois des conches superposées contiennent séparément les restes qui appartiennent à l'une ou l'autre de ces deux grandes divisions.

La présence de ces divers débris a fait partager les terrains de sédiment en deux classes, selon qu'ils ont été déposés sous les eaux douces ou sous les eaux marines.

On a cherché à expliquer par de grands cataclysmes l'alternative de ces deux genres de dépôts, et l'on a cru longtemps que la mer, après avoir baigné certains terrains, s'en était retirée; que les eaux douces étaient venues remplacer les vagues salées, et que la mer, en venant encore renouveler son séjour, avait abandonné de nouveaux débris. Mais ceux qui cherchent à tout expliquer au moyen de grandes révolutions et par d'immenses oscillations des mers, ne songent pas que si l'Océan se retirait d'un rivage, il abandonnerait tous les autres, puisque la surface de l'eau reprend toujours son niveau. Dès lors un phénomène qui s'est passé dans le bassin de Paris, aurait dû se produire sur toutes les côtes des deux continents. La mer ne peut donc pas se retirer d'un rivage, mais ce rivage lui-même peut être élevé au-dessus des eaux. Il serait cependant bien difficile d'admettre qu'une portion de terrain aussi considérable

que le bassin de Paris, par exemple, eût pu être successivement soulevée et abaissée à plusieurs reprises, de manière à permettre à des dépôts aussi différents et aussi étendus de s'opérer. C'est donc encore dans l'action des causes contemporaines qu'il faut chercher une explication raisonnable de ce phénomène, et si nous nous rappelons que les grands fleuves charrient sur les bords de la mer, une énorme quantité de débris qu'ils déposent à leur embouchure, si nous pensons à ces luttes continuelles de l'Océan contre les côtes, et à ces créations et destructions successives, nous nous rendrons facilement raison de ce mélange de débris dans les mêmes assises, ou de leur succession en couches alternatives. En effet, nous voyons tous les jours les fleuves charrier des coquilles d'eau douce, ainsi que des débris de mammifères que les pluies entraînent; nous voyons flotter à leur surface des arbres tout entiers, que les inondations ont déracinés, et tous ces débris vont s'engloutir sous des conches de vase et de gravier. Les courants marins peuvent de leur côté amener au milieu de ces détritus des continents, les dépouilles de leurs nombreux mollusques, et alors s'expliquent tout naturellement ces réunions extraordinaires d'êtres qui ont vécu dans des lieux si différents. A l'époque des crues périodiques des grands fleuves, on sait que leurs eaux luttent avec avantage contre celles de l'Océan; elles accroissent leur delta, en y déposant de nouvelles couches de vase, tandis que, dans les basses eaux, les flots de la marée remontent leurs cours, et doivent nécessairement charrier des débris d'animaux marins, qui plus tard alternent avec les autres. Or, puisqu'il est bien reconnu qu'une partie de nos continents actuels ont été créés sous les eaux de la mer, et qu'ils ont ensuite été émergés par des causes particulières, il faut bien admettre que les points où de grands fleuves venaient verser leurs eaux dans cet ancien océan, peuvent avoir été soulevés comme le sol, qui était entièrement inondé. En sorte que les causes actuelles, que nous voyons agir sans cesse, nous donnent une idée très-juste d'actions plus puissantes, mais analogues, qui ont modifié la surface de la terre.

CHAPITRE DIX-SEPTIÈME.

DES FORCES AGISSANTES INTÉRIEURES.

Les forces dont nous nous sommes occupés dans les chapitres précédents, quoique puissantes et nombreuses, ne suffisent pas pour nous expliquer un grand nombre de phénomènes qui se déploient tous les jours sous nos yeux. Ce ne sont ni les forces d'érosion qui dégradent les continents, ni les actions de transport qui les reconstituent, qui peuvent nous faire comprendre la chaleur des eaux thermales, l'intermittence des Geisers, la composition des lagonis; ce ne sont pas les actions chimiques, précédemment étudiées, qui peuvent nous rendre raison des phénomènes volcaniques, des tremblements de terre, et d'une foule de réactions dépendantes de ces forces nouvelles et puissantes.

Il faut chercher ailleurs les données nécessaires pour résoudre ces grands problèmes; mais tout annonce, dans ces phénomènes, une action qui agit du centre de la terre à l'extérieur, et qui crée à la surface extérieure, comme le font les actions précédentes; en sorte que les deux surfaces d'accroissement du globe se touchent et se confondent, quoique partant chacune de points diamétralement opposés. Mais ici les forces semblent venir de l'intérieur; les résultats seulement se font jour jusqu'à la surface, et nous ignorerons probablement toujours les grands mystères que nous cache l'écorce solide de notre planète.

Tout cependant semble nous indiquer une chaleur intérieure indépendante de celle de la surface, et cette idée anciennement admise et nouvellement soutenue, paraît mériter maintenant toute l'attention des géologues.

On sait que la température de l'air varie suivant la latitude, l'élévation et plusieurs autres circonstances accessoires. Il en est de même de la terre, qui, exposée aux rayons solaires sous différents climats, s'échauffe

bien plus que l'air, et se refroidit quelquefois plus vite. Les saisons et la latitude peuvent donc modifier continuellement la température extérieure de la terre, qui, sur certains points, peut dépasser $+ 60^{\circ}$ centigrades, et sur d'autres s'abaisser de $- 30$.

Ces grandes variations ne sont que superficielles; elles atteignent tout au plus 3 ou 4 centimètres de profondeur. La nuit, le rayonnement de cette surface lui fait bientôt acquérir une température inférieure à celle de l'air.

Il y a donc tous les jours une oscillation de température sur une couche de 4 centimètres d'épaisseur; mais indépendamment de cette chaleur diurne, la terre acquiert aussi une température annuelle, qui s'étend bien plus profondément que celle qui dépend seulement des retours périodiques du soleil sur l'horizon. Celle-ci paraît avoir de l'influence jusqu'à la profondeur de 30 à 40 mètres, et le point où cette température cesse de varier, s'appelle la *ligne de température invariable*. Elle indique à très-peu près la moyenne annuelle d'un lieu. Si, par exemple, dans une contrée où l'on ne fait que passer, on voulait avoir la température moyenne de l'année, sans faire toute la série nécessaire d'observations thermométriques en plein air, il suffirait de connaître le point souterrain où la température ne varie pas, pour obtenir de suite la moyenne. C'est ce que M. Boussingault a fait pour plusieurs points de la chaîne des Andes, mais nous ne pourrions pas le faire aussi facilement dans nos climats. Dans les lieux où ce savant chimiste a opéré, il trouvait la ligne de température invariable à un pied de profondeur, ce qui tient aux légères oscillations du thermomètre dans ces contrées, tandis qu'à mesure que l'on s'éloigne de l'équateur pour arriver au pôle, il faut descendre plus profondément.

dément, de telle sorte qu'une ligne qui indiquerait la couche de température invariable, allant de l'équateur au pôle, s'éloignerait peu à peu de la surface, et offrirait sur son trajet une série d'ondulations dont les causes seraient très-difficiles à déterminer dans l'état actuel de nos connaissances. Cette ligne, comme les lignes isothermes, s'éloignerait de temps en temps des degrés de latitude.

Tout ce qui est au-dessus de cette ligne souterraine est soumis à l'influence des saisons et des climats, mais il est bien clair que toute la partie qui est au-dessous en est complètement indépendante. Et si l'on compare les masses des deux portions que cette ligne sépare, on verra que la partie extérieure n'est rien relativement à l'autre. Lorsqu'on pénètre au delà de la couche invariable, on ne tarde

pas de s'apercevoir que la température augmente en raison de la profondeur, et elle devient même assez élevée dans des mines très-profondes pour incommoder les ouvriers.

Un grand nombre d'expériences ont été faites pour déterminer cette température à différentes profondeurs; mais il en est peu qui soient comparatives, parce qu'on a négligé de tenir compte de plusieurs circonstances accessoires qui doivent nécessairement avoir eu une certaine influence sur les résultats. On trouvera l'énoncé de tous ces essais dans le beau travail que M. Cordier a publié sur la chaleur centrale¹. Nous allons en extraire seulement le tableau qui contient les propres observations de ce savant, comme étant celles qui doivent inspirer le plus de confiance.

TABLEAU

Des données fournies par les expériences qui ont été faites directement sur la température du sol, à CARMAUX, à LITTRY et à DECIZE.

LIEUX DES EXPÉRIENCES.		Nos des expériences.	Profondeur des stations.	Température observée.	OBSERVATIONS.
CARMAUX.	Eau du puits Vériac.	1	0,2	12,9	Ce puits est à peu de distance de la mine dite du Ravin. Ce puits est immédiatement au-dessus de la station prise dans la mine Castellan. Il y a une petite demi-lieue de distance entre ces deux mines.
	Eau du puits de Bigorre. . . .	2	11,5	15,15	
	Roc au fond de la mine du Ravin.	3	181,9	17,1	
	Roc au fond de la m. de Castellan.	4	192	19,5	
LITTRY.	Surface extérieure des mines. .	1	0	11	Température égale à la moyenne.
	Roc au fond de la mine	2	99	16	Température qu'il faut attribuer au pays.
	Station B.	3	99	16,27	
	Moyenne pour les deux stations. .	4	99	16,135	
DECIZE.	Eau du puits Péliasson.	1	8,8	11,4	Ces puits sont situés presque immédiatement au-dessus des stations prises dans la mine.
	Eau du puits des Pavillons. . .	2	16,9	11,77	
	Roc au fond de la mine	3	107	17,78	
	Station supérieure de la mine Jacobé.	4	171	21,1	

Ce tableau fait voir que la profondeur qui correspond à l'accroissement d'un degré de chaleur souterraine doit être fixée, savoir : à 36 mètres pour Carmaux, à 19 mètres pour Littry, et à 15 mètres pour Decize.

Depuis ces intéressants résultats obtenus par M. Cordier, beaucoup de savants ont recueilli des observations sur la température

¹ *Annales des Mines*, 2^e série, t. II, p. 55.

intérieure du sol, et le percement d'un grand nombre de puits artésiens n'a pas pu contribuer à augmenter le nombre des expériences.

M. Ermann a publié des observations faites dans le puits foré de Roderdorf; après avoir décrit les précautions prises et les appareils employés, il expose des résultats qui donnent, pour une profondeur de 650 pieds, une température presque double de celle de la surface¹.

M. Ipasky a dressé en tableau les observations faites sur la température des puits artésiens aux environs de Vienne, en Autriche, et il en a déduit une augmentation de température d'un degré octogésimal pour chaque espace de 25 mètres. La température moyenne à Vienne étant de 8° 2 R., le fond des puits a donné, à 240 pieds de profondeur, 11° 2³.

M. Phillips a publié aussi les résultats qu'il a obtenus dans un puits de 1384 pieds, mais son ouverture est de 87 pieds au-dessous du niveau ordinaire de l'eau; sa profondeur au-dessous du niveau de la mer est donc seulement de 1,497 pieds: Si la profondeur de la couche invariable est supposée de 100 pieds, et que la moyenne température du lieu soit de 47° 6, on a 72° 6—47,6 ou 25° d'augmentation de température pour 1,484 pieds, c'est-à-dire, 1° F. pour 59,36 pieds, ou en nombre rond, 1° F. pour 20 yards anglais. En traduisant ce résultat en mesures françaises, on trouve que c'est 1° C. pour 52,57 mètres².

Une seule expérience a été faite en Amérique par madame Griffith. Elle donne un accroissement de 1° centigrade par 12 mètres de profondeur³.

M. Arago a fait aussi tout récemment de nouvelles observations thermométriques dans le puits que la ville de Paris fait percer à l'abbattoir de Grenelle. Lorsque ce puits avait 250 mètres de profondeur, un thermomètre, à midi, indiqua, après 24 heures de séjour, une température de 20° C., et lorsqu'il eut

atteint 500 mètres, la même expérience donna 22°; en sorte que l'accroissement de température qui, d'après les premières observations, était de 1° par 26 mètres, avait augmenté, et était alors de 1° pour 25 mètres. Des expériences faites dans le puits foré de l'École-Militaire, qui n'est éloigné que de 600 mètres de celui de Grenelle, et qui est foré dans le même terrain, ont donné 1° centigrade par 29^m 83.

Nous pourrions rapporter un plus grand nombre de résultats, mais ceux qui précèdent suffisent pour prouver que la température va toujours en augmentant, à mesure que l'on descend dans l'intérieur du globe. Ils suffisent aussi pour nous faire voir la grande différence qui existe entre la progression de l'élévation de température, dans des lieux divers et quelquefois très-rapprochés.

Il résulterait de ces expériences, que la chaleur, en augmentant ainsi, devrait atteindre une grande élévation dans l'intérieur du globe, et que sa masse intérieure serait fondue par cette énorme température. Une croûte solide, d'une épaisseur variable, nous séparerait de cette masse incandescente.

D'après les observations faites à l'Observatoire de Paris, il suffirait de pénétrer jusqu'à la profondeur de 2,503 mètres dans l'intérieur du globe, pour y trouver la température de l'eau bouillante⁴; et en adoptant la moyenne de 25 mètres de profondeur pour l'élévation d'un degré, on aurait, pour la chaleur du centre de la terre, l'énorme chiffre de 250,000 degrés centigrades, température capable de fondre toutes les roches et probablement tout ce qui existe sur la terre.

L'épaisseur moyenne de la croûte du globe terrestre, calculée d'après ces données, n'excéderait certainement pas vingt lieues de cinq mille mètres; mais elle est probablement, beaucoup moindre, puisque la chaleur, combinée avec la pression, doit rendre les composés pierreux fluides et cristallisables à une profondeur moins considérable.

Il est bien difficile de savoir quelles sont les causes des grandes différences qui semblent exister dans l'épaisseur de la croûte solide, ou dans les relations qui existent entre

¹ *Mémoires de l'Académie de Berlin*, 1832.

² *Annales de Poggendorf*, vol. XXXI, n° 23, p. 365.

³ *Phil. Magaz.*, décembre 1831, p. 446.

⁴ Lettre à M. Cordier, *Annales des Mines*, 2^e série, t. VI, p. 444.

⁵ *CORBIER, Annales des Mines*, 1837.

la mesure de la profondeur et celle de la température. Comment expliquer que l'écorce de la terre soit moitié moins épaisse à Decize qu'à Carmeaux, lieux qui ne sont séparés que par une si petite distance? On concevrait plutôt que sur un autre continent, en Amérique, par exemple, il puisse y avoir une différence aussi importante; mais la seule expérience que nous avons rapportée est loin d'être concluante.

Peut-être la nature des roches a-t-elle une influence marquée sur la conductibilité du calorique; c'est ce qui semblerait résulter des expériences comparatives entre le schiste et le granite, faites dans le comté de Cornouailles, par M. W. J. Henwood. Cet observateur a constamment trouvé, à profondeur égale, la température des schistes élevée de quelques degrés au-dessus de celle des granites¹.

Nous ignorons probablement toujours la cause de ces singulières variations, car le plus ou moins de conductibilité des roches n'est pas une circonstance capable de nous expliquer les inconcevables variations qui se montrent dans toutes ces expériences.

Quoi qu'il en soit, les faits existent et sont incontestables; mais il ne s'ensuit pas que tous les savants admettent l'incandescence intérieure de la terre. Ainsi M. Poisson, dans sa théorie de la chaleur, n'adopte pas cette opinion, et paraît disposé à alléguer une autre cause à la température des parties intérieures du globe. Il fait observer que les régions cosmiques, dans lesquelles se meut le système solaire, ont une température qui leur est propre; que cette température peut être différente dans différents points de l'univers, et que, s'il en est ainsi, la terre doit être quelque temps à acquérir la température du point de l'espace où elle est arrivée. Cette température se propagera graduellement de la surface aux portions intérieures. Ainsi, si le système solaire quitte une région plus chaude pour entrer dans une plus froide de l'espace, la portion de la terre au-dessous de la surface manifestera des traces de cette plus haute température qu'elle avait acquise

dans le temps, et cette manifestation ne justifie en aucune façon l'opinion que l'accroissement de température augmente constamment à mesure qu'on approche du centre. Quoique cette manière de voir puisse ne pas recevoir l'approbation des géologues, il est nécessaire d'en tenir compte, afin de ne pas donner une confiance exclusive à l'opinion contraire; car dans les sciences on ne doit être guidé que par la recherche de la vérité.

Cependant il faut avouer que l'incandescence du globe rend mieux raison de tous les phénomènes, s'applique à tous les détails, et acquiert ainsi une telle probabilité qu'il est bien difficile de ne pas l'adopter, et de ne pas considérer la terre, ainsi que l'avaient déjà fait Buffon et Leibnitz, comme un soleil éteint, mais dont la croûte seule est refroidie.

Le baron Fournier est arrivé aussi, par des considérations tout à fait différentes de celles que nous avons rapportées plus haut, à conclure qu'une chaleur très-intense a primitivement pénétré toutes les parties de notre globe. Il pense que cette grande chaleur s'est dissipée dans les espaces planétaires qui nous environnent, dont il considère la température; d'après les lois du rayonnement de la chaleur, comme égale à -50° centigrades. Il a conclu en outre que la terre a presque atteint la limite de son refroidissement. La chaleur primitive contenue dans une masse sphéroïdale, égale en grandeur à notre globe, diminuerait plus rapidement à la surface qu'à de grandes profondeurs, où une température élevée se maintiendrait pendant un long espace de temps. Il a déduit de ces circonstances, ainsi que de la température des mines et des sources, qu'il y a une cause intérieure de chaleur qui élève la température de la surface au-dessus de celle que l'action seule du soleil pourrait produire; mais cette élévation est excessivement faible, car pendant les vingt derniers siècles la diminution de la température terrestre aurait été moindre de $\frac{1}{300}$ de degré². De Laplace, par une méthode tout à fait différente, est parvenu aux mêmes résultats³.

¹ FOURNIER, *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXVII, p. 165.

² LAPLACE, *Annales de Chimie et de Physique*, t. VIII, p. 414.

³ *Records of general Science*, septembre 1836, p. 198.

Mais ce refroidissement n'est insensible à la surface que parce que les pertes de chaleur y sont incessamment compensées par l'effet d'une propagation qui procède uniformément du dedans au dehors, compensation presque complète, qui approche continuellement de l'état d'équilibre, et que l'expérience et la théorie expliquent parfaitement. Les pertes de chaleur n'ont donc d'influence qu'à de grandes profondeurs, d'où il résulte que l'écorce solide du globe continue de s'accroître journellement à l'intérieur par la cristallisation des matières fondues, en sorte que la formation des roches cristallisées continue toujours d'avoir lieu, et ne cessera qu'après un temps immense, c'est-à-dire lorsque ce refroidissement aura atteint sa limite¹.

Ainsi la terre aurait été d'abord brillante et incandescente comme le soleil, répandant sur la lune une vive clarté, et l'échauffant de ses rayons comme le soleil nous enveloppe maintenant des siens. Sa surface se serait

peu à peu refroidie en abandonnant sa chaleur à l'espace, et une croûte solide, actuellement épaisse de 15 à 25 lieues, se serait formée sur un noyau qui conserve encore sa fluidité originaire, et dont la température atteint sans doute une extrême intensité. Dès lors rien de plus facile que d'expliquer la chaleur de ces nombreuses sources thermales qui paraissent de tous côtés. Rien de plus simple que de donner une théorie vraisemblable des phénomènes volcaniques, des grands dégagements de gaz, de concevoir les tremblements de terre et le soulèvement des chaînes de montagnes. Il nous suffira, suivant notre méthode, d'étudier les effets actuels de ces grands phénomènes, de les agrandir successivement en les éloignant de notre époque, et nous parviendrons ainsi à prendre une idée juste de la structure de notre planète, et des forces qui président encore aux changements qui s'opèrent dans son intérieur et à sa surface.

CHAPITRE DIX-HUITIÈME.

DES DIVERS PHÉNOMÈNES PRODUITS PAR LES FORCES INTÉRIEURES.

Tous les phénomènes qui ont pour cause l'action des forces intérieures se lient les uns aux autres, et ne sont souvent, quoique très-différents en apparence, que les résultats d'une même action. Nous ne pouvons cependant les étudier ensemble, et pour éviter toute confusion, nous les partagerons en deux groupes, en nous élevant successivement des actions les plus faibles aux plus puissantes. Dans la première division, nous étudierons ceux qui n'ont pas assez d'intensité pour occasionner des mouvements sensibles dans la croûte du globe, et dans la seconde, ceux qui

par des effets dépendants de la chaleur centrale, peuvent changer la surface du sol, en le déchirant ou le fracturant de différentes manières.

Dans la première division se trouvent, les *sauz minérales*, les *Geisers et lagonis*, les *dégagements de gaz et de bitume*; dans la seconde, les *volcans*, les *tremblements de terre* et les *soulèvements*;

Enfin, une troisième division comprendra une foule de petites actions chimiques, entièrement dépendantes de ces forces intérieures, comme la *formation des filons par infection* ou par *sublimation*, la *dolomitisation des roches*, les *phénomènes de liquation*, etc.

¹ CORDIER, *Annales des Mines*.

DES EAUX MINÉRALES.

Nous avons déjà dit, en parlant des sources, à quels caractères on distinguait les eaux minérales. C'est principalement à leur température, qui surpasse la moyenne du sol dont elles s'échappent; en sorte que ce ne peut être dans les couches de terrains situés au-dessus de la ligne de température invariable qu'elles prennent naissance, mais toujours au-dessous. Il y a cependant des eaux minérales froides, et alors c'est leur composition qui les fait distinguer des autres.

Les eaux minérales se rencontrent dans toutes les contrées, quelquefois dans les plaines et souvent dans les vallées. Elles semblent plus fréquentes dans les régions montagneuses que partout ailleurs, et se trouvent presque toutes situées sur le bord de l'eau, à peu de distance des ruisseaux ou des rivières.

On les voit sortir de toutes espèces de terrains cristallisés ou de sédiments, anciens ou modernes. Tantôt elles coulent d'une manière continue, comme la plupart des sources; tantôt elles ont des intermittences très-marquées et régulières. Les unes sont réduites à de simples filets, qui s'échappent avec peine d'étroites fissures; d'autres arrivent au jour sous un volume énorme, et jaillissent avec force au-dessus du sol. Quelquefois elles sont froides, comme l'eau des sources ordinaires, mais le plus souvent elles possèdent une température élevée, dont le degré varie entre celui qui indique la moyenne du sol et celui de l'eau bouillante. Leur composition varie extrêmement; rarement pures, elles renferment généralement des sels et des acides en quantité très-notable, et assez forte pour leur donner des propriétés particulières et une action marquée sur l'économie animale.

Nous allons d'abord citer quelques exemples de sources minérales, et nous étudierons successivement les principaux caractères qu'elles nous présentent.

La France possède un grand nombre de ces fontaines : tout le monde connaît les fameuses sources sulfureuses de Bagnères et de Barrèges, dans les Pyrénées; celles de Cauterets et de Saint-Sauveur, qui en sont peu distantes. Ces eaux, qui s'échappent du sol

par un grand nombre de filets, marquent de 36 à 58° au thermomètre centigrade. Les eaux de Dax, dans les Landes, marquent 60°; celles du Mont-Dore, qui s'échappent des terrains volcaniques sur les rives de la Dordogne, atteignent jusqu'à 44 degrés de chaleur; celles de Viehy, qui sortent des alluvions de la rivière d'Allier, marquent aussi près de 40°; celles de Bourbonne dépassent 80°, ainsi que celles de Néris. On trouve encore en France un grand nombre de sources dans les Vosges, en Alsace, en Normandie : on en connaît dans tous les départements.

La Suisse et la Savoie sont riches en eaux minérales. On cite celles de Brides, dont la température est de 53 à 56°; celles d'Aix marquent 44 à 47°; celles de Leuk, dont la chaleur atteint 82°, et un grand nombre d'autres.

Tout le reste de l'Europe en est abondamment pourvu; la Belgique et l'Allemagne en possèdent un grand nombre. Elles sont surtout très-communes dans l'Eifel, sur les bords du Rhin, contrée volcanique qui a les plus grands rapports avec l'Auvergne.

Celles de Carlsbad, en Suède, sont célèbres depuis longtemps; elles sont nombreuses, et plusieurs d'entre elles marquent jusqu'à 75°.

L'Angleterre ne possède qu'un petit nombre de sources thermales. Celles de l'Espagne sont à peine connues. On en cite de très-chaudes en Portugal, et l'Italie, comme toutes les contrées volcaniques, est couverte d'un nombre infini de ces sources, dont la température varie autant que la composition.

On connaît à peine les sources de la Russie, mais on sait qu'il en existe dans cette vaste contrée.

L'Asie, avec ses grandes chaînes de montagnes, produit un grand nombre de sources thermales. Elles sont fréquentes sur les flancs du Caucase, sur les pentes de l'immense chaîne des monts Himalaya. On rapporte qu'en Chine, à environ sept lieues de Macao, on trouve des quantités considérables d'eaux chaudes au milieu d'une plaine d'alluvion. La température d'une des sources atteint 83°, celle d'une autre 63°, et cette dernière donne 68 litres par minute. On en connaît plusieurs dans l'île de Ceylan.

Le sol de l'Amérique donne passage à une foule de sources qui arrivent au jour, avec une

température presque égale à celle de l'eau bouillante. Près de Valencia, M. de Humboldt a trouvé une source marquant 90°, située à 40 pieds de distance d'une source froide. A la Jamaïque, plusieurs fontaines minérales sortent de la base des montagnes Blanches, et quelques-unes ont une température de 52°. Les Geisers d'Islande sont célèbres depuis longtemps.

L'Afrique possède aussi des sources chaudes, mais elles sont peu connues, comme tout ce qui concerne cette partie du monde.

Il serait du reste tout à fait inutile de citer un plus grand nombre d'exemples; il nous suffit d'avoir constaté la présence des sources thermales sur un certain nombre de points, pour faire voir que c'est un phénomène commun à toutes les zones, à tous les climats, à toutes les contrées et à tous les terrains.

Du volume et de l'intermittence des sources thermales.

Quelle que soit l'origine des sources thermales, un fait bien remarquable est l'extrême abondance de quelques-unes d'entre elles. Celles de Chaudesaigues, dans le Cantal, versent par minute 252 litres d'eau; celles de Carlsbad, bien plus abondantes, ont pu à peine être mesurées, tant la quantité en est grande; on l'évalue à 111,292 seaux par vingt-quatre heures. Plusieurs des sources thermales que MM. de Humboldt et Boussingault ont observées en Amérique, forment de véritables rivières à leur sortie du sol. Presque toutes sont intermittentes et donnent lieu alternativement à de violents dégagements de gaz, puis ensuite à l'épanchement de l'eau qui se trouvait comprimée. Il en est même dont les intermittences sont parfaitement réglées. C'est souvent l'acide carbonique qui, comprimant les eaux dans leurs réservoirs souterrains, en arrête le cours et les force d'attendre qu'il se soit dégagé. On connaît plusieurs de ces sources en France, telle que la Fontaine-du-Tambour, en Auvergne, ainsi nommée à cause d'une sorte de roulement souterrain produit par le gaz qui vient s'accumuler dans une cavité intérieure; telle est celle de Jauze, à Clermont, dont les intermittences sont d'environ six minutes; telle est

encore à St.-Nectaire, une source peu éloignée des anciennes fontaines minérales, qui jaillit avec force à plusieurs pieds au-dessus du sol, et qui s'arrête ensuite tout à coup; celles de Carlsbad, et notamment celle du Sprudel, présentent le même phénomène dû encore à la même cause, au refoulement de l'eau par le gaz qui se dégage.

L'Islande possède un grand nombre de ces sources intermittentes, dont les plus célèbres sont les *Huer* ou *Geisers* de la vallée de Reikium, à une forte demi-lieue nord de la ville de Skalholt: on en rencontre plus de cent dans une circonférence de deux milles. Le jet du Grand-Geiser s'élève souvent à plus de cent cinquante pieds de hauteur, et son diamètre est quelquefois de dix-sept pieds; il s'élance avec une sorte de bourdonnement. Les parois intérieures du bassin sont couvertes d'incrustations siliceuses en forme de choux-fleurs, ainsi que les environs, à plus de trente mètres autour de la source. (Fig. XIX et XX.)

Parmi les nombreuses descriptions de ces sources, une des plus remarquables est celle de M. de Troll, qui a été traduite du suédois¹.

« Les *huer*, ou jets d'eau, qui sont en beaucoup plus grand nombre, sont plus remarquables. Je citerai seulement les trois plus curieux. Il y en a un près de Langervatn, l'eau douce, d'une lieue de circonférence, à deux journées de l'Hécla: c'est là que j'ai vu le premier *huer* ou jet d'eau, et je dois avouer que le coup d'œil en est superbe. Le ciel était serein, et le soleil commençait à dorer les montagnes voisines. Il n'y avait pas de vent, et le lac, où se promenaient des éygnes, se présentait à la vue comme un miroir. Tout à l'entour, on voyait en huit endroits s'élever de ces sources chaudes, des vapeurs qui se perdaient en l'air.

« Toutes jetaient de l'eau; une entre autres s'élevait en colonne de dix-huit à vingt-quatre pieds de haut, sur un diamètre de six à huit pieds. L'eau en était extrêmement chaude. Nous y fîmes cuire pour notre déjeuner un assez gros morceau de monton, avec quelques truites saumonées, et des bécassines: leur saveur n'en fut nullement altérée. Tel

¹ *Lettres sur l'Islande*, p. 304 et suivantes.

était le degré de chaleur, qu'au bout de six minutes ces viandes furent cuites presque à tomber en morceaux.

« Une description telle que j'aurais souhaité de pouvoir vous la donner, serait encore inférieure au sujet ; mais il est certain que jamais, en aucun autre lieu, je ne me suis senti plus rempli d'admiration et de vénération pour l'auteur de la nature.

« Il se trouve à Reikum un antre buer. On assure que le jet d'eau de celui-ci s'élevait, il y a quelques années, jusqu'à soixante-dix pieds de hauteur. Un éboulement de terre qui couvre presque toute l'ouverture par où l'eau jaillit, est cause qu'elle ne va pas au delà de soixante pieds.

« Je ne vous ai point parlé, monsieur, de ce qui m'a paru le plus remarquable, et que vous aurez, ainsi que moi, peine à croire. Je n'avancerai rien de plus que ce que j'ai vu, et j'en garantis par conséquent la vérité.

« Le plus grand jet d'eau qui existe, est celui de Geiser, près de Skalholt, une des résidences épiscopales de l'Islande. C'est de Marly, de St.-Cloud, de Vinterkasten dans le Landgraviat de Cassel, et de Herrenhausen au pays d'Ilanovre, ne sont rien auprès. Dans un espace moindre d'une demi-lieue à la ronde, on trouve jusqu'à cinquante fontaines bouillantes qui vraisemblablement ont toutes la même source. L'eau dans les unes est claire ; dans d'autres, elle est trouble comme l'eau de chaux qui dépose ; et dans quelques-unes, l'eau passe au travers d'une veine d'ocre qui la rend rouge comme du sang, tandis que celle des autres fontaines, qui coule au travers d'une glaise plus claire, est blanche comme du lait.

« Toutes ces fontaines forment des jets d'eau, avec cette différence, que dans une partie elle jaillit continuellement, et dans l'autre, elle ne le fait que par intervalle. La plus grande fontaine, qui est au milieu, fut celle qui nous occupa le plus. Nous y restâmes depuis six heures du matin jusqu'à sept heures du soir. Le diamètre du tuyau qui reçoit l'eau montante est de dix-neuf pieds. J'en ignore la profondeur. Le cratère qui se trouve à l'extrémité du tuyau, présente la forme d'un chaudron. Son diamètre est de cinquante-six pieds ; et son bord, au-dessus de celui

du tuyau, est de neuf poncees. Cette fontaine ne jette pas de l'eau continuellement, mais à différentes reprises dans la journée. Les habitants des environs nous ont assuré que l'eau va beaucoup plus haut quand il ne fait pas très-froid. Lorsque nous y arrivâmes, nous vîmes l'eau jaillir jusqu'à dix fois en cinq heures, à la hauteur de soixante pieds. L'eau étant montée au bord du tuyau, ne remplissait le cratère que peu à peu, et elle débordait à la fin. Nous nous attendions à un jet d'une grande hauteur, qui n'eut pas lieu aussitôt. M. Lind, qui nous accompagnait comme astronome, dressa son quart de cercle pour en prendre l'exacte hauteur. Dans l'après-midi, à quatre heures et quelques minutes, la terre trembla ; et cette secousse se fit également sentir en divers endroits, sur la cime de la montagne, à cinq cents brasses de l'ouverture. Elle fut accompagnée d'un bruit souterrain, comme de plusieurs coups de canon qui se succédaient ; l'instant après, le jet commença, et la colonne d'eau qui, d'après nos observations, montait à quatre-vingt-dix pieds, se divisa en différentes directions ; mais ce qui ajouta à l'étonnement que nous causèrent les effets singuliers du feu et de l'air, c'est que nous vîmes remonter les mêmes pierres que nous venions de jeter dans l'ouverture. »

Voici le tableau des élancements du Geiser, pendant la journée que M. de Troil passa sur les bords.

« Au moment de notre arrivée au Geiser, l'eau était basse dans le tuyau à la profondeur de quatre pieds. Dans cet état, elle jaillissait comme on peut en juger par les observations suivantes :

N ^o .	HOURS.	HAUTEUR.	DURÉE.
1	VI	42 min.	39 pds. 0 min. 20 sec.
2		51	6
3	VII	6	10
4		31	12
5		51	60
6	VIII	17	24
7		29	18
8		36	12

Le tuyau en ce moment-ci commença à se remplir et déborda peu à peu dans le cratère.

N ^o .	HAUER.	HAUTEUR.	DURÉE.
9	IX	25 min.	48 pieds. 1 min. 10 sec.
10	X	16	24
	XII	33	

Nous entendîmes sous terre comme trois décharges d'un canon qui ébranlèrent la terre; l'eau déborda un peu le cratère, ce qui ne dura qu'un instant, car aussitôt elle s'abaisa.

11	II	8	L'eau déborda de nouveau du cratère.
12	III	13	Le bruit souterrain recommença, mais moins fort que la première fois.
13	IV	43	Considérable débordement d'eau durant une minute entière.
14	IV	49	Plusieurs décharges souterraines extrêmement fortes; elles se firent entendre, non-seulement près de la source, mais encore dans la chaîne des montagnes voisines, et il se fit un élanement.
15	VI	51 min.	92 pieds. 4 sec.

« Ce dernier jet, qui était le plus considérable, étant fini, l'eau descendit très-profondément dans le tuyau, où elle resta tranquille pendant quelques minutes, au bout desquelles elle recommença à bouillonner, sans monter cependant plus haut que jusqu'aux bords du tuyau.

« Vous imaginerez aisément, monsieur, le plaisir avec lequel nous passâmes une journée en cet endroit. Je ne suis plus surpris qu'une nation aussi portée à la superstition que ce sont les Islandais, se persuade que cette ouverture est l'entrée de l'enfer. C'est aussi par cette raison qu'aucun Islandais ne passe jamais devant une de ces ouvertures sans y cracher, en prononçant ces paroles : *Uti fandum mund*, ce qui veut dire : *Dans la gueule du diable*. »

Depuis l'époque où M. de Troil rapporta cette naïve description du Geiser, plusieurs voyageurs ont exploré l'Islande et ont reconnu qu'il s'était opéré des changements dans le nombre et la puissance de ces sources jaillissantes. Un autre jet considérable, que l'on nomme le Strok, a commencé à paraître lors d'un tremblement de terre qui eut lieu en Islande en 1784.

Mais ces éruptions sont devenues depuis bien plus violentes et bien plus considérables. Les habitants l'affirment unanimement, et on le trouve en outre confirmé dans les mémoires de la Société littéraire islandaise; le tremblement de terre fut cause que d'anciennes fontaines bouillantes disparurent, et que de nouvelles parurent dans d'autres endroits.

Le lieutenant danois Ohlsen, qui visita l'Islande en 1804, fut témoin de l'éruption de cette dernière source, dont les accès sont fort irréguliers. Il y avait près de 18 heures qu'il était arrivé, et le Strok n'avait pas encore éprouvé le moindre mouvement, excepté le petit bouillonnement ordinaire dans le tuyau d'où montent toujours quelques vapeurs, comme cela a lieu pour d'autres sources plus petites. « Mais avant la fin d'une éruption du Geiser, qui arriva à neuf heures du matin, le Strok fit une éruption avec le plus grand fracas; la terre trembla autour de la source, et subitement on vit une colonne épaisse de fumée monter avec rapidité. L'eau fut rejetée du tuyau avec une violence épouvantable; elle se réduisit dans la colonne même en un brouillard fin qui s'éleva dans l'air à une hauteur extraordinaire; on vit de temps en temps quelques jets d'eau se frayer une route à travers la colonne de vapeurs, soit perpendiculairement, soit obliquement, et parvenir à des hauteurs différentes; quelques-uns des jets d'eau, que je pouvais voir, semblaient s'élever à une hauteur d'environ 150 pieds.

« Cette source lança peu d'eau, mais beaucoup de vapeurs, et les jets élevés se soutinrent peu de temps dans l'air.

« La source continua sans interruption à jeter de l'eau et des vapeurs pendant deux heures dix minutes; cette colonne de vapeurs paraissait se réunir aux nuages.

« Cette éruption du Strok se termina à onze heures dix minutes du matin, après quoi la source redevint tranquille, en bouillonnant cependant comme auparavant.

« Pendant l'éruption du Strok, le Geiser fut en mouvement, et vers les onze heures jeta de l'eau assez haut, durant quinze minutes, sans que le bassin, de même qu'aux autres éruptions, fût tout à fait rempli. Comme il ne se passa que deux heures entre

la dernière éruption du Geiser et celle-ci, il paraît que la violente éruption du Strok avait causé celle du Geiser, ou plutôt qu'ils sont en communication l'un avec l'autre. »

Les observations de M. Ohlsen sur le Geiser lui-même ne se rapportent pas exactement à celles de M. de Troil, et il semble assez naturel qu'il soit survenu quelques changements dans les caractères de ces éruptions, depuis le tremblement de terre qui a donné naissance au Strok. M. de Troil vit les éruptions du grand Geiser se succéder presque toutes les heures et atteindre à peine la hauteur de 90 pieds, tandis qu'à l'époque où M. Ohlsen visita les mêmes lieux, ils étaient bien moins fréquents, et élevaient des jets d'eau jusqu'à la hauteur de 212 pieds. Ce magnifique phénomène se présentait à lui à peu près toutes les six heures.

Sir G. Makensie n'a jamais vu les jets du Geiser s'élever au delà de 90 pieds, et même, dans la plupart des éruptions, la colonne n'en atteignait pas 50. Le Strok, qui commence aussi, comme le grand Geiser, par des jets qui s'élèvent graduellement, lui a offert le spectacle d'une colonne de 70 pieds.

Il s'en faut de beaucoup, comme on le voit, que les éruptions de ces sources singulières présentent toujours la même durée et la même intensité.

Les lagonis sont un phénomène qui semble avoir de grands rapports avec les Geisera et les sources minérales. On donne ce nom à de petites mares remplies d'eau, à travers lesquelles se dégage une grande quantité de vapeurs qui s'échappent des fissures des roches. Ces vapeurs, dont la température est très-élevée, sont ordinairement chargées d'acide borique. (Fig. XXI.)

C'est en Toscane que se rencontrent ces singulières émanations; c'est là du moins qu'elles ont été étudiées. C'est près de la route royale de Volterra à Massa, dans un terrain aride, couvert de fragments d'un calcaire stratiforme coquillier, au milieu de pyrites et de schistes grisâtres, que se trouvent les lagonis de Monte-Cerboli et de Castelnuovo, distants d'environ 4 milles, tandis que plusieurs autres se rencontrent à Monte-Rotondo, à la Leccia, à Castignano, à Serrazzano, formant une espèce de cercle autour des sources de la Coruia, au

revers méridional de la montagne sur le sommet de laquelle s'élève le pays de Castelnuovo. L'acide borique produit ne se trouve pas tout entier dans les lagonis, mais une bonne portion est continuellement portée à la surface du sol par des courants gazeux ou *solfioni*, ayant leur cratère dans des lieux parfaitement secs. La température des gaz qui se dégagent des solfioni est de 120 à 140°, tandis que celle des lagonis ne dépasse pas 70°.

On trouve de semblables dégagements à travers une crevasse du sol dans l'île de Vulcano. Il s'y dépose aussi de l'acide borique analogue à celui des lagonis.

De la température des eaux minérales.

Nous avons déjà dit qu'il existait des eaux minérales froides comme l'eau des sources ordinaires, et que leur composition chimique peut les différencier, quoique assez difficilement. Ces eaux minérales froides sont, selon toute apparence, des eaux chaudes qui se sont refroidies en traversant les couches extérieures de la terre. Aussi voit-on rarement des sources dont le volume est considérable, arriver au jour avec une basse température. Ce sont, au contraire, les plus abondantes qui sont ordinairement les plus chaudes, parce que leur volume s'oppose à un trop prompt refroidissement, lors de leur arrivée par les fissures des roches. On trouve un grand nombre de ces sources chaudes sortant directement des terrains cristallisés, et l'on en voit même s'échapper du fond de la mer et jaillir avec force au milieu des eaux salées. Ainsi des sources d'eau chaude sortent dans le golfe de Naples, et près de l'île de Palma dans l'archipel des Canaries. A l'île de la Guadeloupe, il y a une fontaine bouillante qui jaillit sur la grève.

Beaucoup de sources ont une température extrêmement élevée. Celles de Chaudesaignes marquent de 60 à 82 degrés; celles de Trincheras, près Puerto-Cabello, s'élèvent à 97°; les sources d'Arijino, au Japon, marquent plus de 100°, et s'échappent en partie en vapeurs. L'eau des Geisera est à 100 degrés, selon plusieurs observateurs; et les dernières recherches de M. Lottin lui assignent une température plus élevée, puisqu'il a trouvé celle du grand Geiser de 124° centigrades,

à 20 mètres de profondeur; celle du Strok de 111°, à la profondeur de 13 mètres, et l'eau d'un petit trou à fleur de terre à la température de 101°²; et nous avons vu tout à l'heure la chaleur des vapeurs qui alimentent les lagonis atteindre 140°.

Les puits artésiens ont offert aussi des eaux plus chaudes que la température moyenne de la surface du sol où ils ont été creusés; et l'élévation de température est d'environ un degré centigrade pour chaque 20 à 30 mètres de profondeur, ainsi que le prouvent les exemples suivants:

PARIS.

La température moyenne de Paris à la surface du sol est. + 10°,6 cent.

La température de la fontaine jaillissante de la gare de Saint-Ouen est. + 12°,9
(Profondeur, 66 mètres.)

DÉPARTEMENTS DU NORD ET DU PAS-DE-CALAIS.

La température moyenne de la surface dans les départements du Nord et du Pas-de-Calais est d'environ. + 10°,5

Fontaine artésienne de Marquette. + 12°,5
(Profondeur, 56 mètres.)

Fontaine artésienne d'Aire. + 13°,5
(Profondeur, 63 mètres.)

Fontaine artésienne de St-Venant. + 14°,0
(Profondeur, 100 mètres.)

Sheerness, à l'embouchure de la Medway, dans la Tamise, températ. moyenne de la surface. + 10°,5

Température du puits artésien. + 13°,5
(Profondeur, 100 mètres.)

TOURS.

Température moyenne de la surface. + 11°,5

Température de la fontaine artésienne. + 17°,5
(Profondeur, 140 mètres)².

Ces résultats nous prouvent évidemment que les eaux sont d'autant plus chaudes

qu'elles arrivent de lieux plus profonds. Aussi les sources thermales qui amènent des eaux qui marquent 90 à 100 degrés viennent d'une profondeur plus grande que celles qui marquent 50, ou bien elles perdent en route une moins grande quantité de calorique.

Pendant quelque temps, on a cru que ces eaux étaient chauffées par les volcans; mais cette opinion, qui paraissait avoir un certain degré de vraisemblance pour les sources qui sont situées dans les terrains volcaniques, devient de nulle valeur, si l'on considère qu'il existe un grand nombre d'eaux minérales dans des terrains qui ne présentent aucune trace de volcanisation; et d'ailleurs il est évident que si cette chaleur dépendait de changements chimiques souterrains, encore en activité, on apercevrait des variations considérables, selon que les causes s'affaibliraient ou deviendraient accidentellement plus actives, comme on l'observe dans tous les volcans encore brûlants. Quant à l'hypothèse qui attribue leur chaleur à la décomposition chimique des sulfures, l'influence limitée et variable d'une telle cause, comparée à la grandeur et à la permanence de l'effet, sont des preuves suffisantes pour faire abandonner cette explication. M. Brongniard, avec la plupart des géologues, attribue la température élevée des eaux qui sortent des différents terrains, à la grande profondeur d'où elles viennent par des canaux souterrains. En admettant que la terre a une chaleur propre, croissante avec la profondeur, ce que paraîtraient confirmer toutes les observations que nous avons citées, cette opinion serait la seule vraisemblable. Mais, après ces faits si dignes d'attention, ce qu'il y a de plus remarquable, c'est la constance des phénomènes qui caractérisent ou accompagnent les eaux minérales; en effet, à quelques exceptions près, dont plusieurs même peuvent être appréciées, on observe dans les eaux dont plusieurs sont connues depuis un très-grand nombre d'années, le même volume, la même composition, les mêmes dégagements de gaz, la même saveur et la même température. Les grands froids, les grandes chaleurs, la sécheresse et l'humidité, qui ont une grande influence sur la plupart des sources, en ont peu sur celles-ci; mais les tremblements de terre

¹ Institut, 4^e année, p. 338.

² Annuaire du Bureau des longitudes, 1835.

les modifient souvent. Ils les ont quelquefois fait disparaître entièrement, ou bien ils ont changé les eaux thermales en eaux froides; mais souvent aussi ces altérations n'ont été que momentanées, et au bout de quelques semaines, de quelques jours, ou même de quelques heures, la source a repris son cours et sa température ordinaires.

Un autre fait peut encore, jusqu'à un certain point, prouver que la température des eaux thermales est due à la chaleur centrale, c'est leur refroidissement proportionné à la longueur du conduit qui les amène. Ainsi, en supposant que la fissure qui amène des eaux minérales d'un même niveau ait une demi-lieue de longueur depuis son point de départ jusqu'au niveau de la mer, il en résultera nécessairement que cette fissure sera plus longue, si elle vient s'ouvrir sur une montagne; or, le trajet étant plus long, l'eau sera d'autant plus froide qu'elle sortira à une plus grande hauteur. M. Boussingault a essayé de déterminer cette influence par des observations, et il cite la source de Trinchetas, qui se trouve presque au niveau de la mer, dont la température est de 97°; tandis que la source de Mariana (située, comme la précédente et la suivante, en Amérique), déjà élevée de 676 mètres, a seulement une température de 64°. Enfin, l'eau de la source d'Onoto, placée à 702 mètres d'élévation, n'est plus qu'à 44°,5 centig.¹

Il faut convenir cependant que les expériences ne sont pas assez nombreuses pour qu'on puisse regarder l'influence de l'élévation au-dessus du niveau de la mer comme une cause certaine de refroidissement pour les eaux thermales; mais la théorie l'indique et ces trois observations la justifient.

Composition des eaux minérales,

Ainsi que nous l'avons déjà dit en nous occupant des sources, l'eau de pluie et de neige est toujours sensiblement pure; mais quand elle a traversé des terrains dont elle peut dissoudre une certaine quantité, elle se charge des principes solubles, eu sorte qu'il est rare

qu'une eau de fontaine soit parfaitement pure. S'il en est ainsi pour l'eau des sources ordinaires, à plus forte raison pour celle qui vient d'une grande profondeur, et qui souvent possède une température très-élevée. Ainsi la plupart des eaux minérales contiennent des principes salins ou gazeux, en quantité assez considérable, pour avoir une action marquée sur l'économie animale. Cette règle toutefois n'est pas sans exception; car on cite dans plusieurs contrées des eaux à la fois très-chaudes et très-pures; mais elles sortent ordinairement de terrains cristallisés. Telles sont en Italie, les Pisciarelli du lac Agnano qui, malgré leur température de 93°, sortent pures et limpides; telles sont, parmi les sources de l'île de Ceylan, celles de Cannea, près de Trenquemalle. Ces sources, selon John Davy, sont au nombre de quatre; leur température est de 38° à 42°. L'eau est limpide et ne forme aucun dépôt; elle n'a ni odeur ni saveur; sa pesanteur spécifique est exactement la même que celle de l'eau distillée. Les réactifs n'ont pu y faire découvrir d'autres substances étrangères qu'une trace de muriate de soude et une très-petite quantité de gaz acide carbonique et d'azote. Ces gaz s'en dégagent aux sources mêmes, sous la forme de bulles plus ou moins abondantes.

Dans l'intérieur de l'île, non loin de Batticaloa, il y a des sources semblables, mais dont la température est beaucoup plus élevée².

Les eaux minérales d'Onoto, en Amérique, que nous avons déjà citées, et qui sourdent à 360 toises de hauteur au-dessus du niveau de la mer, n'ont aucune odeur d'hydrogène sulfuré; elles sont sans saveur et ne précipitent ni par le nitrate d'argent ni par aucun réactif. Évaporées, elles laissent un résidu inappréciable, qui consiste en peu de silice et une trace d'alcali. Elles n'ont que 44°,5 de température, et les bulles d'air qui se dégagent par intermittence, sont du gaz azote pur³.

¹ Notes sur les sources chaudes de l'île de Ceylan, d'après les observations faites dans cette île par M. John Davy, *Annales de Chimie*, t. XXIII, p. 269.

² Humboldt, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. X, p. 117.

³ BOUSSINGAULT, *Annales de Chimie et de Physique*, février 1835, p. 182.

Celles de Mariana, peu éloignées des précédentes, ne renferment aussi que très-peu de matières étrangères. Elles sont à 476 mètres au-dessus de la mer, et elles sortent du gneiss. La température des moins chaudes est de 54°, et celle des plus chaudes de 64. Elles forment quelques concrétions siliceuses sur les pierres qui se trouvent dans le ruisseau; elles dégagent du gaz azote pur; elles répandent une légère odeur de gaz hydrogène sulfuré. Par l'évaporation, l'eau laisse un faible résidu dans lequel on trouve de la silice, du carbonate de soude, de la magnésie, de la chaux¹.

Ce petit nombre d'exemples d'eaux *presque pures* fait voir que c'est réellement par exception que les eaux chaudes ne contiennent que si peu de matières. Presque toutes en renferment bien davantage, et nous allons passer en revue les principales substances que l'on y rencontre.

Ce sont, *parmi les gaz* : l'oxygène, l'azote, l'hydrogène.

Parmi les corps simples : le soufre libre ou combiné, l'iode combiné, le brome.

Parmi les métaux : le fer, le cuivre, le manganèse, toujours combinés à l'état salin.

Parmi les acides : les acides carbonique, sulfureux, sulfurique, hydrochlorique, nitrique, hydro-sulfurique, borique, phosphorique, fluorique.

Parmi les alcalis : la soude et bien plus rarement la potasse.

Parmi les sels : les carbonates de chaux, de magnésie, de fer, de manganèse, de strontiane, de soude, d'ammoniaque; le borate de soude; les hydrosulfates neutres de soude, de chaux, de magnésie, de fer. Ces mêmes hydrosulfates unis à l'hydrogène sulfuré ou au soufre; les hyposulfates des mêmes bases, provenant probablement de la décomposition des hydrosulfates; les hydrochlorates de soude, de chaux, de potasse (rare), de magnésie, de baryte (rare), d'ammoniaque, d'alumine (très-rare); les nitrates de potasse, de chaux, de magnésie, de soude; les sulfates de soude, de chaux de magnésie, d'alumine,

d'ammoniaque, de potasse et d'alumine, de enivre, de fer et de manganèse; les fluates de chaux, de baryte; les hydriodates de soude, de potasse; les phosphates de baryte, d'alumine de fer, de chaux.

La silice.

La matière organique. Presque toutes les eaux renferment de la matière organique, généralement azotée.

Quelquefois ces matières sont libres et même assez abondantes pour colorer l'eau thermale. C'est ce qu'a observé M. Berzélius pour les eaux de Forla en Suède. Elles ont une teinte jaune, qui paraît due à la présence de deux nouveaux corps : l'acide chrénique et l'acide apochrénique. Ces deux acides, dérivés de la composition de substances végétales, se trouvent dans plusieurs eaux ferrugineuses de Scandinavie. Les eaux de Forla contiennent en outre divers sels, surtout des carbonates, du chlorure de potassium ou de sodium; et leurs parties gazeuses sont de l'azote et de l'acide carbonique².

Cette matière organique des eaux minérales est souvent combinée à la soude et forme une espèce de savon qui rend certaines eaux minérales très-onctueuses. Il paraît, du reste, qu'elle a la plus grande tendance à s'organiser, et on la voit se transformer promptement en matière vivante. C'est ainsi que M. Cotta a trouvé des animaux microscopiques dans les eaux de Carlsbad. M. Dumas et M. Bertrand, inspecteur des eaux du Mont-Dore, en ont remarqué dans celles de St.-Nectaire; mais le plus souvent c'est en substances végétales que la transformation a lieu, et presque toutes les eaux thermales produisent ces filaments glaireux, d'abord incolores et passant promptement au vert, qui ont été décrits par M. Lonchamp, sous le nom de *barrégine*, parce qu'il les observa d'abord à Barrèges, et par M. Robiquet, qui les a soigneusement étudiés à Nérès, où ils semblent se produire avec plus d'abondance que partout ailleurs.

Telles sont les principales matières qui constituent les eaux minérales; mais toutes ces substances n'existent jamais dans l'eau d'une même source, d'autant plus qu'il en est

¹ Sur les eaux chaudes de la Cordillère de Venezuela, par M. M. Boussingault et Mariano de Rivero, *Annales de Chimie*, t. XXIII, p. 272.

² *Institut*, n° 36, p. 40; et *Annales de Chimie*, octobre 1833, p. 219.

qui ne peuvent se trouver ensemble sans se décomposer aussitôt; tel est, par exemple, le sous-carbonate de soude, relativement aux sulfates, nitrates et hydrochlorates de chaux et de magnésie. La même eau n'en contient jamais plus de huit à dix, et la proportion de chacune d'elles est toujours très-limitée. Les substances salines, qui sont les plus abondantes et les plus variées dans les eaux, sont les hydrochlorates et les sous-carbonates à base de chaux, de soude et de magnésie, le sous-carbonate de fer, les hydrosulfates de chaux et de magnésie, la silice et les gaz.

Kirwan a fait observer dans la composition des eaux minérales, certaines associations particulières de substances salines qu'il ne donne pas comme constantes et exclusives, mais comme assez remarquables par leur généralité. Ainsi, l'on trouve ordinairement ensemble le carbonate et le sulfate de chaux, le fer et le sulfate d'alumine, l'hydrochlorate de soude et celui de chaux. L'hydrochlorate de soude est toujours accompagné de sulfate de chaux, à moins qu'il n'y ait du carbonate de soude; le carbonate de magnésie est ordinairement accompagné de carbonate de chaux; le carbonate de soude, de sulfate et d'hydrochlorate de soude; l'hydrochlorate et le sulfate de magnésie, d'hydrochlorate de soude, tandis que l'inverse de ces associations n'est pas également vrai. Le sulfate de chaux se trouve dans la plupart des sources et accompagne tous les sels, excepté le carbonate de soude.

Les eaux minérales sont très-répandues, mais on connaît surtout les plus abondantes ou celles dans lesquelles certains principes deviennent prédominants. Tantôt ce sont les gaz, d'autres fois les sels, et si, parmi ceux-ci, ce sont des sels à base de fer ou des hydrosulfates, les eaux acquièrent des propriétés assez distinctes pour qu'on les sépare des eaux salines. Enfin, il en est qui sont acides. Nous allons énumérer quelques-unes des principales sources minérales, rangées d'après leur composition chimique :

Eaux salines. Elles sont presque sans action sur les couleurs bleues végétales et ren-

ferment peu de corps gazeux. Telles sont les eaux froides de Passy (Seine), de Forges (Seine-Inférieure), de Nérès (Allier), de Plombières (Vosges), de Bourbonne-les-Bains (Haute-Marne).

Eaux gazeuses et acides. Les unes doivent leur acidité aux acides borique, sulfureux, sulfurique, hydrochlorique; telles sont les eaux de certaines sources qui alimentent les *lagonis* de Toscane, celles qui se trouvent autour des volcans en activité (grottes du Vésuve et de l'Etna, Rio-Vinagre, au volcan de Paríacé dans le Popayan, etc.); les autres la doivent à l'acide carbonique qui leur communique une saveur aigrelette et la propriété de mousser fortement, qualités qu'elles perdent par l'action de la chaleur et l'exposition à l'air; telles sont celles de Seltz, près Francfort, de Pougues (Nièvre), de Châteldon (Puy-de-Dôme), d'Alfiter, près Cologne, etc.

Les eaux alcalines doivent leurs propriétés à la soude et principalement à son bi-carbonate, quelquefois à celui d'ammoniaque. On n'a pas encore trouvé la magnésie, la potasse et la chaux à l'état de liberté dans les eaux. On regarde comme sources alcalines, celles de Reikun, en Islande, de Plombières (Vosges), de Vichy (Allier); on y place aussi celle de Chaudesaigues (Cantal), quoiqu'elles ne contiennent qu'une très-petite quantité de matières alcalines.

Les eaux ferrugineuses paraissent contenir le fer à l'état de protoxide, dissous dans un excès d'acide carbonique, comme dans celles de Bussang (Vosges), de Contrexville, de Forges (Seine-Inférieure), de Provins (Seine-et-Marne), de Spa (pays de Liège), ou à l'état de sulfate, comme celles de Passy, de Pyrmont (Hanovre), de Cranzac (Aveyron), etc.

Eaux hydro-sulfureuses ou hydro-sulfatées. Rarement l'hydrogène sulfuré y est libre; presque toujours il est combiné à la soude, comme aux sources d'Aix-la-Chapelle (Prusse), de Bagnères-de-Léon (Haute-Garonne), de Barrèges (Hautes-Pyrénées), de Bonnes (Basses-Pyrénées), de Cauterets (Hautes-Pyrénées), de Bagnols (Lozère), etc.

CHAPITRE DIX-NEUVIÈME.

DE L'ORIGINE DES SOURCES MINÉRALES, ET DE CELLE DES MATIÈRES QU'ELLES RENFERMENT.

Nous ne prendrons pas la peine de rappeler les explications plus ou moins singulières qui ont été proposées sur l'origine des eaux minérales. Les observations que nous avons faites sur leur température, celles que nous venons de rapporter sur leur composition, suffisent pour nous faire pressentir qu'elles viennent des profondeurs du globe, et que c'est là qu'elles puisent la chaleur dont elles sont douées. Descartes avait depuis longtemps assigné cette cause à la température élevée de plusieurs d'entre elles. Cet illustre physicien supposait que les eaux de la mer se rendaient dans des réservoirs situés à de grandes profondeurs, et qu'elles y pénétraient par des fissures du terrain. Là, elles étaient réduites en vapeurs par le feu central, et ces vapeurs, élevées dans l'intérieur du sol, se condensaient en eau contre ses parois, et s'écoulaient par les fentes des roches, comme l'eau distillée coule par le bec d'un alambic.

L'acide carbonique et les matières salines qui accompagnent les eaux minérales, tendent à faire admettre qu'elles viennent de grandes profondeurs, et qu'elles sont dues à la condensation de vapeurs qui peuvent, dans certaines circonstances, arriver très-près de la surface du sol sans se liquéfier. Les diverses substances qu'elles renferment, peuvent avoir été entrainées par la vapeur, puisque nous pouvons produire des phénomènes semblables dans nos laboratoires, comme M. Soubeirus l'a fait remarquer pour l'acide borique que l'eau entraîne malgré sa fixité. La pression que doit éprouver la vapeur dans ces conduits souterrains, peut lui donner des propriétés qui nous sont à peine connues, et il est très-probable que les substances que contiennent

les eaux minérales, viennent de l'intérieur même du sol, car quels que soient les terrains qu'elles traversent, pour arriver à sa surface, on n'a jamais remarqué qu'ils pussent modifier ou produire les substances qui sont contenues dans ces eaux.

Les volcans peuvent avoir une certaine influence sur les eaux thermales, et l'on remarque même quelques sources dont l'origine se rattache tout à fait à ce genre de phénomène, qui du reste est aussi lui-même intimement lié à la chaleur centrale. C'est ce que l'on observe principalement pour les sources qui renferment des acides. Ainsi, le *Rio-Finagre*, dont les eaux contiennent une quantité très-notable d'acides sulfurique et hydrochlorique, prend naissance à 1,700 toises de hauteur, dans un endroit inaccessible du volcan de Puracé : ses sources sont très-chaudes, et se précipitent en cascades qui tombent à plus de 60 toises de profondeur dans le *Rio-Cauca*. Cette rivière est dépourvue de poisson pendant un cours de quatre lieues, à cause du mélange de ses eaux avec celles du *Rio-Finagre*. Le volcan de Puracé est un dôme de trachyte semi-vitreux, gris bleuâtre et à cassure conchoïde ; il n'offre pas un grand cratère à son sommet, mais plusieurs petites ouvertures ; la bouche du volcan de Puracé est une fente verticale, dont l'ouverture visible n'a que 6 pieds de long et 3 de large ; elle est recouverte, en forme de voûte, par une couche de soufre très-pur, qui a 18 pouces d'épaisseur : le bruit qu'on entend près de cette ouverture, ne peut être comparé qu'à celui que causeraient plusieurs machines à feu, au moment où l'on ferait échapper la vapeur condensée. L'ouverture communique à un bassin rempli d'eau en ébullition ; cette

eau n'a pas de goût acide, mais elle exhale une forte odeur d'hydrogène sulfuré, et elle contient de l'acide muriatique. Les vapeurs qui sortent avec violence de la crevasse, sont de l'acide sulfureux; il est probable que le soufre qui s'amasse sur les bords de cette crevasse, est produit par la réaction de l'acide sulfureux et de l'hydrogène sulfuré¹.

M. Robert a retrouvé en Islande un phénomène presque semblable.

« Après avoir traversé des coulées de laves d'une étendue considérable, nous atteignîmes les soufrières de Brisark, qu'on pourrait aussi bien nommer solfatares; c'est à la lettre une montagne de soufre, croissant continuellement, située entre des terrains basaltiques, qui portent les traces du plus grand bouleversement; cette contrée a vraiment un aspect de désolation : le sol brûlant sur lequel on marche, dégage beaucoup d'acide sulfureux; les eaux chaudes qui en sortent, contiennent, d'après les expériences que nous avons pu faire sur les lieux, de l'acide sulfurique libre; du gypse se forme au moyen de tous ces éléments². »

Il paraîtrait cependant que l'acide sulfurique libre pourrait exister dans des eaux thermales éloignées des montagnes ignivomes; car, à en juger par le sulfate acide de chaux qui se forme sur les parois des chambres ou cabinets dans lesquels pénètrent les vapeurs des eaux d'Aix, en Savoie, il semblerait que ces vapeurs contiennent de l'acide sulfurique libre, ainsi que l'ont avancé MM. Gimbernat, Murray et Michelotte. Mais M. Francœur³ suppose que cet acide se forme au contact des parois qui contiennent des bases salifiables, par l'action de l'air sur le soufre de l'hydrogène sulfuré. Il se passerait alors un phénomène chimique analogue à celui de la nitrification.

L'acide borique dont nous avons indiqué la présence à Vulcano et dans les lagonis, vient évidemment de l'intérieur du sol; mais

à Vulcano, les parois de la crevasse où il se forme, en sont entièrement couverts, et dans quelques endroits les couches ont plusieurs pouces d'épaisseur. Dans la situation où il se trouve, il ne peut avoir été formé que par sublimation, à la faveur des vapeurs aqueuses.

Celui des lagonis a la même origine, mais sa production n'est pas régulière; car Hoëfer, chimiste toscan, trouva qu'un litre d'eau recueillie en novembre 1777, dans un des lagonis de Monte-Rotundo, contenait environ 72 grains d'acide borique, tandis qu'une égale quantité d'eau prise dans le même endroit, au mois de mai suivant, en renfermait une proportion à peu près double. M. Larderel, qui s'est beaucoup occupé de ces lagonis, soupçonne que l'acide borique peut se former continuellement dans le sein de la terre, par la combustion continue du bore.

La commission qui a fait à l'Académie agrario-économique de Florence, le rapport sur son travail, serait à peu près de l'avis de Guerrazzi, relativement à la théorie de la formation de cet acide. Il pensait que l'acide borique peut exister dans le sol qui le produit, uni à des bases terreuses, et en être séparé par des réactions chimiques particulières. Il fondait cette opinion sur ce que cet acide n'est pas le seul produit des lagonis; on l'y trouve mêlé à quelques pyrites, à du soufre, des sulfates, de l'acide hydrosulfurique à l'état de gaz. Le phénomène de sa production serait peut-être plus facilement expliqué par l'existence souterraine de ces pyrites et de l'eau, celle-ci, par son contact avec les sulfates, pouvant être décomposée de manière à faire figurer, sous deux aspects, l'un de ses éléments, l'oxygène, de sorte que :

1° Une portion de cet oxygène se combinerait avec une partie du soufre des pyrites, et formerait de l'acide sulfurique, tandis que l'autre servirait à oxider le fer de ces mêmes pyrites.

2° L'hydrogène correspondant, par son union avec une autre partie du soufre, donnerait naissance à de l'acide hydrosulfurique, et celui-ci, ne pouvant s'unir à aucune base sous l'influence d'une température aussi élevée, serait entraîné par le courant du *solfione*.

3° Le sulfate de fer résultant de l'union

¹ Analyse de l'eau de Rio-Vinsgre dans les Andes de Popayan, par M. de Rivero, avec des éclaircissements géologiques et physiques sur quelques phénomènes que présentent le soufre, l'hydrogène et l'eau dans les volcans, par M. de Humboldt. (*Annales de Chimie*, t. XXVII, p. 113.)

² Roazav, Voyage en Islande, *Institut*, 4^e année, p. 136.

³ *Journal de Pharmacie*, 1828, p. 340.

du soufre acidifié et du fer oxydé par l'oxygène de l'eau, agirait, à l'aide de la chaleur, sur les borates terreux qu'on suppose exister à l'intérieur du sol, et déterminerait à la fois la production de nouveaux sulfates et l'expansion de l'acide borique.

4° Et comme cet acide n'a qu'une faible affinité pour les bases salifiables, il peut, sans arriver à l'oxyde de fer abandonné par l'acide sulfurique, être entraîné par le courant de vapeur dont la température élevée serait le résultat de la décomposition de l'eau et des diverses combinaisons que nous venons d'indiquer.

Bien que cette manière d'envisager les phénomènes des lagonis soit assez d'accord avec les théories admises dans nos laboratoires, il restera toujours difficile d'expliquer comment de pareilles actions rencontrent toujours les mêmes substances et des circonstances assez favorables pour donner, depuis tant d'années, naissance aux mêmes produits et dans les mêmes localités.

Les faits positifs, les conjectures même, manquent pour déterminer à quelle époque géologique appartient la formation des lagonis. Cependant on a fait, depuis quelques années, une remarque qui peut être très-importante pour la science, c'est qu'on voit tous les jours changer la position des soufflons qui s'élèvent vers le sommet de la montagne. Ceux de Monte-Cerboli se dirigent vers ceux de Castelnovo, et ces derniers prennent la direction opposée, de sorte qu'ils semblent tendre réciproquement à se rapprocher et à franchir la montagne qui les sépare ; le même foyer paraît leur servir d'aliment. Cette circonstance est importante en ce qu'elle met en droit de conclure que l'éruption des sources chaudes, sur le sol de la Maremma, appartient à l'époque actuelle, bien que les éléments en soient empruntés à des substances minérales dont la formation remonte à des temps plus anciens.

L'acide carbonique est de tous les acides celui qui se rencontre le plus fréquemment dans les eaux minérales, et l'on peut expliquer son origine de différentes manières. On peut supposer que des masses calcaires sont soumises à une température élevée, et que l'acide carbonique qui s'en dégage, rencon-

trant des fissures, les suit, et s'échappe avec violence. On peut également croire que les acides sulfurique ou hydrochlorique, en contact avec ce même carbonate de chaux, qui est très-commun dans la nature, le décomposent, le transforment en sulfates et hydrochlorates que l'eau entraîne au dehors en même temps que l'acide carbonique qui s'est formé. Pour admettre l'une ou l'autre de ces explications, il faudrait prouver qu'il existe des calcaires à de grandes profondeurs, ce qui est improbable, car nous voyons l'acide carbonique se dégager en abondance des sources qui s'échappent des roches cristallisées les plus anciennes, telles que le granite et le gneiss, et qui, selon toute apparence, n'ont pas traversé de carbonate de chaux. Il faut donc encore supposer que cet acide vient des profondeurs de la terre. M. Cordier semble admettre cette idée dans son beau travail sur la température du globe. « Le refroidissement séculaire actuel augmentant continuellement l'épaisseur de l'écorce de la terre, on peut demander si la matière incandescente qui est soumise à cette action passe en entier à l'état solide, ou si elle est décomposée de manière à former des parties solides et des parties gazeuses, décomposition qui n'a rien d'improbable, dit ce savant géologue, puisque la coagulation des laves nous en offre tous les jours un exemple bien frappant ».

Les remarquables expériences de M. Thilorier viennent ajouter un nouveau degré de vraisemblance à la présence souterraine d'une grande quantité d'acide carbonique, car sa solidification que ce savant a obtenue sous une forte pression, peut nous faire supposer que, malgré la chaleur centrale, il peut exister dans l'intérieur du globe d'énormes masses d'acide carbonique solide, ou du moins du carbone qui se combine successivement avec l'oxygène, à mesure que celui-ci pénètre, par une sorte de cimentation, jusqu'à la partie non oxydée de la terre. Les singuliers caractères que présente encore l'acide carbonique dans sa dilatibilité, peuvent aussi mettre sur la voie de quelques phénomènes relatifs aux tremblements de terre, aux dégagements

CORDIER, Essai sur la température de l'intérieur de la terre, *Annales des Mines*, 1826, t. 1, p. 15.

de gaz, etc. On ne peut pas non plus attribuer l'acide carbonique à la décomposition de matières organiques profondément enfouies; indépendamment des considérations chimiques qui s'opposent à cette explication, il faudrait encore tenir compte de l'énorme quantité de gaz qui se produit et de la constance du dégagement, en sorte que l'on ne peut pas à présent reconnaître à cet acide gazeux une autre origine qu'aux acides borique, sulfurique et hydrochlorique, dont les bases sont enfouies à des profondeurs qui sont peut-être considérables, et font partie de cette réunion d'éléments non oxydés qui, selon toute apparence, forment le noyau intact de notre planète.

L'acide hydrosulfurique ou hydrogène sulfuré, qui caractérise un grand nombre de sources, doit avoir aussi une origine analogue à celle des acides précédents. Le soufre, qui, dans certains cas, s'unit à l'oxygène et se dégage à l'état d'acide sulfureux, peut, dans d'autres circonstances, se combiner à l'hydrogène; peut-être même cet acide est-il dû simplement à l'action de l'air sur des sulfures métalliques, qui existeraient à de grandes profondeurs, et notamment sur du sulfure de sodium, car alors on expliquerait à la fois, et l'apparition de l'hydrogène sulfuré, et la présence de la soude caustique, dont M. Longchamp a constaté l'existence dans les eaux des Pyrénées. L'azote de l'air, qui produirait cette action, se dégagerait avec l'eau, phénomène qui se produit assez constamment dans les eaux sulfureuses, comme l'ont prouvé, d'un côté M. d'Anglada ¹, et de l'autre M. Longchamp ², bien qu'ils diffèrent sur plusieurs points théoriques.

D'autres sulfures que celui de sodium peuvent donner naissance à de l'hydrogène sulfuré qui, du reste, paraît tenir en dissolution un peu de soufre en excès. La présence de l'hydrogène sulfuré explique celle des hydrosulfates.

L'azote, dont nous venons déjà d'indiquer l'existence dans les eaux sulfureuses, se montre aussi dans la plupart des sources miné-

rales. Il accompagne fréquemment l'acide carbonique, et se dégage aussi seul et assez abondamment. M. Daubeny en a trouvé dans la source de Mallow et dans celle de St.-Patrick une quantité très-notable, et ce gaz ne contenait que 6 p. 100 d'oxygène ³. On connaît aussi dans le comté de New-York, à six lieues du village de Bennington, d'immenses dégagements d'azote qui s'élève de terre au travers du gravier, et fait bouillonner avec violence l'eau de plusieurs sources.

M. d'Anglada explique la présence de ce gaz dans les eaux sulfureuses, en le regardant comme le produit de la décomposition de l'air, dont l'oxygène se porterait sur le soufre, et il pense que le contact de l'air peut ainsi détruire et faire dégénérer un grand nombre de sources sulfureuses. Il pense que, dans ces sortes de sources, l'azote vient encore de l'air décomposé dont l'oxygène brûlant du charbon, s'est transformé en acide carbonique, explication qui serait admissible, si le dégagement d'azote était proportionné à celui de l'acide carbonique; car, quoiqu'on sache très-bien que l'air qui est entraîné, en dissolution, par les eaux de pluie ou par les eaux courantes, contienne plus d'oxygène que l'air atmosphérique, il renferme cependant toujours les $\frac{2}{3}$ d'azote qui devrait, dans ces cas, se dégager en proportion double de celle de l'acide carbonique. Nous avons cependant tout lieu de croire que l'azote des eaux vient de l'atmosphère. Nous reviendrons un peu plus loin sur ce sujet.

L'oxygène est contenu dans presque toutes les sources, mais rarement dans les eaux minérales. Il accompagne l'azote, mais en petite quantité. Il ne forme guère que 3 à 6 pour cent du volume de ce gaz, excepté dans les sources non minérales, qui renferment de l'air composé le plus souvent de 32 d'oxygène et de 68 d'azote, tandis que l'air atmosphérique se compose de 21 d'oxygène et de 79 d'azote; mais la plus grande solubilité de l'oxygène explique suffisamment cette différence de proportion.

L'iode et le brome ne se trouvent qu'en très-petite quantité dans les sources minérales, et jamais à l'état libre; c'est à l'état d'acides

¹ *Annales de Chimie et de Physique*, t. XVIII, p. 152.

² *Ibidem*, t. XIX, p. 1190.

³ *Société Asiatique d'Oxford, séance du 26 juin 1855.*

hydriodique et hydrobromique combinés à la soude, à la potasse ou à la magnésie.

« Avant 1825, M. Boussingault découvrit la présence de l'iode, ou plutôt de l'hydriodate de magnésie, dans un liquide provenant d'une saline de la province d'Antioquia; et ce liquide est employé avec succès contre le goître. A cette époque, ce savant chimiste ignorait que déjà on avait reconnu l'iode dans plusieurs eaux minérales ¹.

« Toutes celles du pays de Darmstadt contiennent de l'acide hydriodique en quantité plus ou moins grande. L'eau de la saline de Kreutznach (Théodorshalle) est remarquable par la grande quantité qu'elle en renferme ².

L'iode et le brome, comme le soufre et le carbone, doivent exister dans l'intérieur du globe, puisque les eaux les amènent à la surface; mais il faut remarquer que c'est toujours à l'hydrogène que ces corps sont unis.

« Le phosphore, le fluor ne se rencontrent qu'en quantité excessivement petite, et toujours à l'état d'acides phosphorique et fluorique, combinés à des bases. C'est ainsi que M. Berzélius a trouvé quelques-uns de ces sels dans les eaux de Carlsbad, et M. Girardin dans celles de St-Alyre.

« Le fer et le manganèse existent tous deux en quantité bien différente : le fer est très-fréquent, le manganèse est très-rare. Il a été trouvé à l'état de carbonate, dans le dépôt des eaux chaudes de Cocouco près du volcan de Puracé, non loin de Popayan, par M. Boussingault, et dans les eaux de St-Alyre, par M. Girardin. Le fer, au contraire, existe dans un très-grand nombre d'eaux minérales à l'état d'oxide hydraté et peut-être de bi-carbonate. Quelquefois il est combiné à des matières organiques, et forme les sels que M. Berzélius a désignés sous les noms de chrénate et d'apochrénate de fer. C'est ainsi qu'il existe dans l'eau de Jaude, à Clermont.

L'origine du fer et du manganèse est toujours la même que celle des autres substances. Nous ne pensons pas que, les eaux chaudes, et même des eaux chargées d'acide carbonique, aient dissous le fer pendant leur

trajet, bien que nous leur en reconnaissons la puissance; mais nous croyons qu'il vient d'une grande profondeur comme les autres matières contenues dans les eaux.

La soude, la chaux, la magnésie, la potasse, la baryte, qui, très-rarement à l'état caustique, mais presque toujours combinées, se trouvent si souvent dans les eaux à l'état de carbonate, sulfate, hydrochlorate, etc., doivent provenir aussi de l'action de l'oxygène sur les métaux alcalins que le noyau du globe doit renfermer. Mais il se présente ici une objection que l'on ne manque jamais de faire, c'est que la plupart des terrains qui sont déposés sur la terre, renferment les différents sels que nous venons de citer, et qu'il est bien naturel que l'eau qui les traverse avec une température élevée, et qui souvent est en même temps saturée d'acide carbonique sous une forte pression, puisse dissoudre ce qu'elle trouve sur son passage, et amener ces matières à sa sortie. Cette objection devient surtout sérieuse pour le carbonate de chaux, si commun dans toutes les eaux thermales et si répandu dans la nature. Nous sommes loin de nier que les eaux dont nous nous occupons, puissent attaquer le sol qu'elles traversent; mais une simple observation prouvera qu'il ne faut pas attribuer à cette action la composition des eaux minérales : c'est qu'un grand nombre d'entre elles, et ce sont ordinairement les plus chaudes, sortent immédiatement de terrains cristallisés, et déposent à leur sortie les sels que l'on considère comme puisés dans des terrains préexistants, et notamment du carbonate de chaux, en sorte qu'au lieu d'avoir dissous, dans les terrains de sédiment, les matières qu'elles charrient, il y a beaucoup plus de probabilité qu'elles aient déposé, au contraire, une grande partie des roches qui les composent.

La silice, que l'on rencontre de nos jours, dans une foule d'eaux thermales, n'est bien abondante que dans les Geisers d'Islande et dans les sources chaudes de Reiekum, qui sont situées dans la même contrée. Cependant presque toutes les sources thermales en contiennent une petite quantité. Comme la soude accompagne presque toujours cette substance, on a cru que cette dissolution s'opérait à la faveur de cet alcali; mais les belles expé-

¹ *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXX, p. 91.

² *LIEBIG, Annales de Chimie et de Physique*, t. XXXI, p. 335.

riences de M. Berzélius ont suffisamment démontré que la silice à l'état naissant, c'est-à-dire au moment de sa création par le contact et la combinaison de l'oxygène et du silicium, était entièrement soluble dans l'eau : dès lors il n'y a rien d'étonnant que certaines sources en amènent en abondance. Elle perd bientôt sa solubilité, et acquiert en se déposant assez de cohésion pour rester inattaquable à l'eau pure.

Si, ensuite, nous admettons, comme tout porte à le croire, le silicium au nombre des éléments qui composent le noyau de la terre, il nous suffira de la présence de l'oxygène pour expliquer la transformation du métal en oxyde, et dans ce cas, nous aurons encore un dégagement d'azote. Cette dernière circonstance pourra cependant ne pas avoir lieu, car, à une température aussi élevée que celle qui doit régner à ces profondeurs, une portion d'eau peut être décomposée, et tandis que son oxygène fait la silice, son hydrogène peut, comme le suppose M. Longchamp, s'unir à du soufre, à du chlore, à de l'iode, à du brome, et se dégager sous forme d'hydracides ou d'hydro-sels.

Enfin, quant à la matière organique que contiennent presque toutes les eaux thermales, nous pensons qu'elle se forme dans les conduits qui les amènent au jour, ou du moins à une petite profondeur. Du moment où l'azote, l'hydrogène, le carbone et l'oxygène se

rencontrent à l'état naissant et sous l'influence d'une chaleur qui est inférieure à 100°, et presque toujours même inférieure à 50°, nous croyons que ces corps, dont se composent tous les êtres organiques, la forment immédiatement par leur combinaison, et que le contact de l'air et de la lumière finit de la constituer être vivant et organisé. Nous pensons qu'il se forme naturellement dans les eaux qui réunissent les conditions nécessaires, c'est-à-dire qui ne contiennent pas d'acide puissant, ni d'alcali libre, ni des sels trop abondants, des créations spontanées comme celles que nous obtenons à volonté avec des infusions diverses, et nous croyons que l'on doit voir dans ces créations les premiers éléments vivants des règnes animal et végétal.

La majeure partie des matières que contiennent les eaux minérales sont analogues ou identiques à celles que rejettent les volcans dans les différentes phases de leurs éruptions. Ces principes que les bouches ignivomes répandent en grande abondance, au moyen de la force des gaz qui les projettent, se retrouvent en petite quantité, charriés par l'eau thermale de ces sources profondes ; et cette tendance à l'organisation, si remarquable dans les eaux de cette nature, nous en retrouvons, pour ainsi dire, l'équivalent dans la fertilité dont jouissent les contrées couvertes des débris décomposés des roches volcaniques.

CHAPITRE VINGTIÈME.

DES DÉPÔTS FORMÉS PAR LES EAUX MINÉRALES, DES RÉACTIONS QU'ELLES ONT EXERCÉES, ET QUELQUES CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR CE SUJET.

En résumant les détails que nous venons de rapporter, on voit que la majeure partie des substances contenues dans les eaux minérales viennent de l'intérieur du globe. En effet, en admettant comme chose prouvée la chaleur centrale et l'incandescence primitive du globe, on ne peut leur supposer une autre origine. La terre, entièrement formée de substances non oxygénées, a dû d'abord s'oxyder à sa surface, pour produire toutes les roches cristallisées, et l'oxygène absorbé a laissé libre une grande quantité d'azote qui existe encore dans l'atmosphère. Nous n'avons aucune raison pour supposer que l'oxygène ne soit pas encore absorbé, à l'époque actuelle, par une sorte de cimentation, ou par quelques fissures à travers lesquelles il peut pénétrer. Ainsi, cette surface de violente action chimique, qui a dû exister dans le principe, tout à fait à l'extérieur du globe, a dû successivement s'abaisser, et l'action diminuer à mesure que l'air atmosphérique trouvait un contact moins facile, étant séparé par une croûte oxidée, qui augmentait graduellement d'épaisseur. A l'époque où nous vivons, cette action continue, mais faiblement, et doit s'exercer à une profondeur de quelques lieues seulement. Là existe une combinaison lente, mais perpétuelle de l'oxygène de l'air avec des corps non oxydés; là se produit une certaine quantité d'oxides qui augmentent graduellement l'épaisseur de la croûte terrestre; là se trouvent tous les éléments des eaux minérales et de la puissance volcanique, des tremblements de terre et des soulèvements qui ont ridé toute la surface du globe.

L'eau pénètre aussi par les fissures du sol jusqu'à cette surface d'action intérieure, et son contact produit de nouveaux phénomènes.

Si l'on suppose réunis à cette profondeur une partie des éléments que nous avons nommés au commencement de cet ouvrage, ou se rendra facilement raison et de l'absorption de l'oxygène et du dégagement d'azote. Ce gaz en effet s'échappe de presque toutes les sources, et l'oxygène n'en sort jamais. Si l'on en trouve une petite quantité, c'est adhérente à l'azote, et peut-être même l'eau l'a-t-elle recueillie dans la partie supérieure de ses conduits. La combinaison de l'oxygène suffit pour expliquer la création des acides, la naissance de la silice, les combinaisons qui forment les sels, et enfin l'apparition de tous ces corps dont les éléments sont rassemblés par une cause inconnue au centre de notre planète, et que nous trouvons si rarement à l'état de pureté, dans les cavités de sa croûte oxidée. L'eau des sources thermales serait alors de l'eau de la surface du globe, qui descendrait par des fissures jusqu'à la surface d'action, ce ne serait pas de l'eau pluviale qui peut tout au plus alimenter des sources ordinaires à niveau variable, mais l'eau des ruisseaux, des rivières et des fleuves, qui, coulant pour la plupart sur des fentes préexistantes qui ont marqué leur lit, abandonnent toujours la même quantité d'eau, qui descend jusqu'au point de contact, et remonte ensuite chargée de différents principes. De là cette situation remarquable des sources minérales sur le bord des cours d'eau, qui peut-être les alimentent, car il y a une connexion bien marquée entre leur position et toutes les sinuosités des rivières, dont souvent elles accompagnent le cours. Peut-être cette relation est-elle due à la simple action mécanique de l'eau courante, qui entraine les dépôts des sources, les empêche de se boucher, et con-

serve ainsi celles qui sont sur leurs bords, tandis que les plus éloignées sont obstruées depuis longtemps.

C'est en effet un phénomène bien remarquable que la promptitude avec laquelle se forment les dépôts de certaines sources. Il en est qui amènent au jour de si grandes quantités de matières que le sol en est couvert sur une grande étendue.

On prévoit déjà que ces matières doivent être celles que contiennent habituellement les eaux thermales et dont nous avons donné plus haut l'énumération. Cependant il s'en faut que toutes celles que nous avons citées, puissent former des dépôts sensibles autour des sources, d'autant plus que différents de ces principes étant très-solubles, sont facilement entraînés par les pluies. Ceux qui composent les dépôts que forment généralement les eaux, sont principalement : le carbonate de chaux, la silice, l'oxide de fer, l'hydrochlorate et le carbonate de soude, l'acide borique. Ces dernières substances, qui sont solubles, ne se déposent guère que dans des bassins alimentés par des sources minérales, dont l'évaporation concentre les eaux. Quant aux autres, on les voit former des masses plus ou moins régulières et plus ou moins volumineuses. Les dépôts de fer hydraté se font de nos jours, à l'issue de certaines sources, mais ils sont rarement purs, et contiennent presque toujours un peu de silice et du carbonate de magnésie. Ils colorent en orangé les pierres et les végétaux sur lesquels ils se déposent.

La silice et le carbonate de chaux sont les corps les plus communs dans les créations des eaux minérales.

On trouve la silice dans presque toutes les sources de l'Islande; celles de Reykoet en déposent abondamment, ainsi que celles de Langaness. A la sortie immédiate de l'eau, la silice de cette dernière source est gélatineuse, mais elle durcit bientôt, et de pâle qu'elle était, elle prend une teinte bleuâtre, que l'on retrouve dans les agates, ce qui pourrait venir à l'appui de la théorie émise par M. Brongniard pour expliquer par voie aqueuse la formation des calcédoines.

Les Geisers, qui sont situés dans la même contrée, déposent une très-grande quantité de silice qui couvre, sous forme de concrétions,

un espace de près d'un mille carré, et dont l'épaisseur, à en juger par une échancreuse du grand Geiser, peut avoir environ douze pieds. Cette silice empâtée des feuilles de diverses espèces de plantes dont elle conserve parfaitement les empreintes.

Le plus bel exemple de dépôts siliceux est celui qui existe dans le terrain volcanique de l'île *St.-Michel*, l'une des Açores. Le docteur Webster, dans la description qu'il donne des sources chaudes de Furnas, rapporte que leur température varie de 23 à 97° centigrades, et qu'elles déposent des quantités considérables d'argile et de matière siliceuse, qui enveloppent et font plus ou moins passer à l'état fossile les herbes, les feuilles et les autres substances végétales, qui se trouvent en contact avec elles. On peut observer ces végétaux sous tous les états de pétrifications. Le docteur Webster a trouvé des branches de fougères qui croissent maintenant dans l'île, complètement pétrifiées, et ayant les mêmes apparences que celles qui sont en pleine végétation, si ce n'est toutefois que la couleur a passé au gris de cendre. On rencontre des fragments de bois, qui sont plus ou moins transformés, et il existe un lit de trois à cinq pieds d'épaisseur, entièrement composé des mêmes roseaux qui sont si communs dans l'île; ils sont complètement minéralisés, et remplis, vers le centre de chaque nœud, de petits cristaux de soufre. Les dépôts siliceux sont à la fois abondants et variés. Le plus considérable se présente par petits lits d'un quart à un demi-pouce d'épaisseur, accumulés sur une hauteur d'un pied et même plus. Ces lits sont presque toujours parallèles et horizontaux, offrant cependant quelquefois de légères ondulations. Ces dépôts présentent des cavités souvent tapissées de petits cristaux de quartz très-brillants et dans lesquels on trouve des stalactites siliceuses, qui ont fréquemment jusqu'à deux pouces de longueur. Des masses compactes de ces dépôts siliceux ayant été brisées par différentes causes, les fragments ont été cimentés de nouveau par la silice, et forment une brèche d'un aspect fort agréable; cette brèche constitue des élévations dont quelques-unes, suivant le docteur Webster, ont plus de trente pieds de haut. Le dépôt général pa-

rait être considérable, et former de petites collines. Les couleurs de l'argile et des substances siliceuses sont très-variées et même très-vives : le blanc, le rouge, le jaune, le pourpre et le brun, sont les nuances dominantes. Les parties de roches qui ont été en contact avec des vapeurs acides, sont décolorées. Le soufre existe en abondance dans ces sources qui sortent d'un terrain de lave et de trachyte¹. Il existe beaucoup d'autres exemples de dépôts siliceux, mais ils sont moins importants.

Les dépôts de carbonate de chaux sont généralement plus puissants et sont surtout plus nombreux.

Un des plus célèbres est le pont de St.-Alyre, à Clermont-Ferrand. Il a 240 pieds de long et forme une arche assez élevée, située sur le ruisseau de Tiretaine. Tout le faubourg de St.-Alyre, où ce pont est situé, est couvert d'une couche d'incrustation semblable. La source, détournée et dirigée de nouveau sur le ruisseau de Tiretaine, y forme un second pont, dont l'arche aura bientôt atteint les $\frac{2}{3}$ de son étendue.

D'autres dépôts de ce genre, et plus considérables, existent sur différents points de l'Auvergne. La vallée de St.-Nectaire est tapissée partout de semblables incrustations.

Il existe à Tèlèze, en Italie, des sources qui ont produit une grande quantité de matières calcaires, puisque leur dépôt forme une croûte étendue sur un terrain de plus d'une lieue de périmètre. Ces incrustations se rencontrent dès qu'on a passé le Calore au bac de Tèlèze, et continuent jusqu'à leur source. La majeure partie du territoire voisin était couverte de ce sédiment, sur une épaisseur de 2 à 3 pieds, et pour reconstruire l'usage de l'excellent sol de cette plaine, il a fallu enlever la croûte pierreuse dont elle était revêtue². Il a fallu agir de même à St.-Alyre pour reprendre une partie du sol.

Les bains de Saint-Philippe, près de Radicofani en Toscane, sont devenus célèbres par l'ingénieux parti qu'en a su tirer de la propriété incrustante de leur eau, pour y établir une manufacture de bas-reliefs d'albâtre, qui

sont l'ouvrage de l'art et de la nature en même temps. On conduit cette eau dans l'atelier par un canal de bois qui est élevé de douze à quinze pieds au-dessus du sol ; l'eau tombe de cette hauteur sur de petites planches disposées de manière à la faire rejaillir contre des moules en creux qu'on a pris sur des bas-reliefs antiques, ou qui sont l'ouvrage des plus grands maîtres. Chaque goutte d'eau qui rejaillit contre ces creux, y dépose quelques molécules calcaires qui s'y cristallisent en perdant leur acide carbonique surabondant, et ces dépôts successifs finissent par remplir les moules d'un albâtre de la plus grande beauté, d'une blancheur égale à celle de l'albâtre gypseux, mais qui a pour le moins la dureté du marbre, et toutes les propriétés de l'albâtre oriental. Quant à la partie de l'art, ces bas-reliefs ne le cèdent en rien à l'original même dont ils sont la fidèle copie.

On a maintenant appliqué ces procédés aux eaux de St.-Alyre et à celles de St.-Nectaire, et l'on y obtient, comme à St.-Philippe, des médailles, des camées et de curieuses incrustations ; mais dans aucune de ces localités, le dépôt ne s'opère parfaitement pur. A St.-Philippe, on laisse reposer l'eau, pour qu'il se précipite du sulfate de chaux, à St.-Alyre du fer, à St.-Nectaire de la magnésie, avant de la conduire directement sur les moules.

Les eaux célèbres de Carlsbad sont très-remarquables aussi par les dépôts qu'elles ont formés. Elles sont situées dans une vallée étroite, au milieu de laquelle coule le Tépél, ruisseau qui va se rendre dans l'Eger. Sur ses deux rives, les sources chaudes sourdent à de petites distances les unes des autres ; leur nombre est très-grand. Les baigneurs ne font cependant usage que des suivantes : le Sprudel, la source de l'Ilygion, le Mulbhrunen, et plus rarement le Spitalbrunnen. Les eaux sourdent par les ouvertures d'une pierre calcaire où l'on a fait des conduits artificiels, à travers lesquels les eaux sont poussées jusqu'à une certaine hauteur, par la pression de la masse inférieure, d'une manière comme pour les baigneurs. Ce calcaire est formé par les eaux elles-mêmes. Partout où elles coulent, et à mesure que le gaz carbonique se dégage, des masses concrétionnées, d'une texture fibreuse, se déposent.

¹ Edimburg philosoph. Journal, vol. VI. cité par Lavoisier.

² BRISTOL, Voyage en Campanie, t. I, p. 20.

Cette croûte de calcaire fut brisée par l'eau au commencement du siècle dernier (dans les années 1713 et 1727), et l'eau chaude se répandit immédiatement dans le Tépél. On résolut alors, tant pour savoir la cause de ce changement, que pour découvrir le moyen d'empêcher des ruptures semblables, de percer ce calcaire et de voir, à cette occasion, d'où les eaux venaient. A peine eut-on percé la croûte supérieure, que l'eau sortit avec force, et que l'on vit plusieurs cavités plus ou moins grandes remplies d'eau, dont le fond était également une croûte de calcaire. On perça aussi celle-là, et l'on découvrit sous elle des cavités semblables, d'où l'eau sortit avec une force plus grande encore, et dont le fond consistait en une troisième croûte de calcaire. Lorsqu'on eut percé à son tour cette dernière croûte, on découvrit un grand réservoir d'eau, qui a reçu le nom de chaudron du Sprudel (Sprudel-Kessel). Les croûtes de carbonate de chaux avaient toutes une épaisseur de 1 à 2 pieds, et consistaient en une pierre d'un blanc d'albâtre et à bandes brunes, à laquelle on a donné le nom de pierre de Sprudel (Sprudelstein). Les trois couches ne sont pas placées concentriquement l'une sur l'autre; elles forment des espaces inégaux, séparés par des parois, comme on plaçait des vases hémisphériques, plus ou moins grands, renversés les uns sur les autres. L'eau était en ébullition violente dans le bassin. Les vapeurs épaisses et chaudes qui sortaient en abondance ne permirent pas de connaître exactement l'étendue du réservoir. Il avait, suivant l'inégalité du fond, une profondeur de 3 à 4 aunes, comptée de la surface extérieure du calcaire. Dans une certaine direction, on ne pouvait pas atteindre les limites avec des bâtons liés l'un à l'autre, et formant une longueur de 30 lachter. Cette direction qui se porte vers le lieu nommé *Hirschenstein*, paraît être celle par laquelle l'eau afflue. Une circonstance qui prouve la grandeur considérable du Sprudel-Kessel, est que l'on atteignit la croûte du Sprudel si l'on creuse suffisamment dans la plus grande partie de la petite ville de Carlsbad, et quand on perce cette croûte, l'eau chaude monte avec violence; le gaz carbonique s'élève de plusieurs endroits, à travers les fentes de cette croûte, en telle quantité, que les caves

des maisons en sont remplies, et que dans le Tépél, qui coule immédiatement sur cette croûte, on voit, sur une grande longueur, principalement dans les environs du Sprudel, le gaz monter en bulles au milieu de l'eau. On ferma alors l'ouverture qu'on avait faite, par la maçonnerie, dont les joints furent bientôt couverts par du sprudelstein; elle retient encore à présent l'eau dans le chaudron, et la force de monter par les canaux ordinaires, et de s'écouler de leurs embouchures. Ces embouchures se ferment cependant peu à peu par le sprudelstein (pierre du Sprudel), qui se dépose aussi dans les canaux, et cela si promptement, qu'on est obligé de les percer quatre fois par an.

Ce qu'on nomme le Sprudel n'est proprement qu'une certaine ouverture du bassin-chaudron, par laquelle l'eau est poussée par intervalles; car l'air et l'eau s'écoulent alternativement. Les parties supérieures du chaudron se remplissent de gaz carbonique qui se dégage de l'eau chaude, en quantité d'autant plus grande que la pression que ce liquide apporte diminue davantage quand il arrive à la surface de la terre. Le gaz dégagé se rassemble dans la partie supérieure de la cavité, et quand sa quantité est suffisamment augmentée, elle comprime tellement la surface de l'eau, qu'il peut s'échapper par les mêmes canaux. L'eau et le gaz sortent alors alternativement de dix-huit à dix-neuf fois par minute. Il y a encore plusieurs ouvertures de la couverture du Sprudel à peu de distance de l'endroit d'où cette source provient. Elles donnent en partie plus d'eau que le Sprudel; mais elles coulent continuellement¹.

Indépendamment de cette énorme quantité de carbonate de chaux, que déposent les sources de Carlsbad, Gilbert a calculé qu'elles rejettent, chaque année, en dissolution, 200,000 quintaux de carbonate de soude et 300,000 quintaux de sulfate de soude avec son eau de cristallisation.

Nous ne citerons pas un plus grand nombre d'exemples de dépôts des sources minérales, bien que nous puissions y ajouter des sédiments de magnésie, des cristaux d'arragonite

¹ BRETELIIUS, *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXVIII, p. 235.

et un grand nombre d'autres matières ; mais on conçoit la possibilité du dépôt de tous les principes que contiennent les eaux, et de plus, des réactions de diverses matières sur d'autres, comme de l'acide sulfurique sur la chaux, de l'acide carbonique sur du fer, de la baryte, etc.

▲ Lorsque nous comparons ces créations nouvelles que les eaux minérales forment sous nos yeux avec les différents terrains de sédiment, nous sommes frappés de l'analogie que nous présentent ces conches d'âges différents. Tout en remarquant que les grandes assises sédimentéuses contiennent une grande quantité de débris organiques, et qu'elles ont été évidemment déposées sous les eaux, nous ne pouvons contester cependant qu'une action chimique puissante n'ait agi pendant ce dépôt, et cette action ne peut être autre que celle des sources minérales. Des eaux excessivement abondantes et saturées de différents principes affluaient continuellement de l'intérieur à la surface de la terre ; d'immenses dépôts s'opéraient à l'aide d'une température élevée, et la vie organique, excitée à la fois par la température et l'humidité, se développait sous des formes variées, qui nous sont maintenant inconnues. Le phénomène des eaux minérales semble avoir joué un rôle extrêmement important dans la structure de la terre, et loin de croire que les eaux puisent dans les terrains qu'elles traversent les matériaux qu'elles déposent, il faut, au contraire, admettre que tous ces terrains ont été déposés par elles, et qu'elles en ont puisé les matériaux au-dessous des roches cristallisées, qui forment maintenant la croûte solide de la terre.

Dans cette circonstance, comme dans plusieurs autres, nous n'aurions plus à l'époque actuelle qu'une faible manifestation d'une action qui fut autrefois assez puissante pour participer à la création de tous les terrains de sédiment.

Nous voyons en effet les sources minérales diminuer tous les jours. Nous trouvons sur plusieurs points de la terre des masses considérables de travertin, dont l'origine est évidente pour nous, et dont la source est tarie, ou bien si elle coule encore, elle ne dépose plus rien, ou n'abandonne qu'à la longue une couche mince et limitée de carbonate de

chaux. A peine si quelques cristaux d'arragonite se forment sous nos yeux, tandis que des couches épaisses gisent au milieu des calcaires déposés par les eaux. La silice n'existe plus que dans les Geisers, car les autres sources en renferment de si petites quantités qu'il est impossible qu'elle puisse former des concrétions, tandis que d'anciens travertins en sont pénétrés au point de ne plus faire d'effervescence, ou bien cette matière s'est rassemblée en masses globuleuses et reste empâtée sous forme de quartz résinite ; au milieu de calcaires imprégnés de natron ou carbonate de soude. La source des Célestins, à Vichy, sort d'un énorme rocher calcaire qu'elle a formé, et toute la ville est construite sur le dépôt de ces eaux, tandis que les fontaines actuelles ne fournissent qu'une faible proportion de cette substance.

Du reste, les eaux minérales ont changé plusieurs fois de nature, et elles ont versé autrefois en abondance, des matières qu'elles ne contiennent plus aujourd'hui ; et ce ne sont pas là des hypothèses gratuites, ce sont des théories positives, établies seulement pour l'explication des faits. Il suffit pour s'en convaincre de jeter les yeux sur le remarquable travail que M. Girardina a publié sur les sources et les travertins de Saint-Alyre. Ce savant chimiste a recherché la nature du travertin qui se dépose actuellement, et de celui qui a formé, il y a quelques siècles, le fameux Pont-de-Pierre, et malgré le court intervalle qui sépare ces deux époques, il a déjà trouvé une différence très-notable dans les proportions. L'ancien dépôt contient une bien plus grande quantité de silice et de carbonate calcaire, et beaucoup moins de peroxide de fer.

« Nous devons en conclure, dit M. Girardin, que la composition des eaux de cette fontaine n'a pas toujours été la même ; qu'à l'époque où elles avaient une propriété incrustante si prononcée, elles étaient beaucoup plus riches en sels calcaires et en silice, et qu'à mesure que cette propriété s'est affaiblie, elles ont perdu peu à peu de ces principes en même temps qu'elles s'enrichissaient en peroxide de fer.

« Beaucoup de sources thermales ont, comme à Saint-Alyre, éprouvé des changements notables dans la constitution chimique

de leurs eaux, et subi une diminution dans la proportion de leurs principes minéraux. Ainsi, les eaux de Saint-Nectaire, de Vichy, du Mont-Dore, n'ont plus la même richesse en substance minérale qu'autrefois, et leur composition n'est plus la même qu'à l'époque où elles formaient ces immenses dépôts siliceux et arragonitères, qu'on trouve aux environs des lieux où elles sourdent. Les eaux du Mont-Dore déposaient jadis des masses assez considérables de silice; c'est à peine si elles en abandonnent. Les eaux de Saint-Nectaire ont formé de l'arragonite, puis de la silice, puis des amas d'ocre très-friable, puis du travertin qu'elles déposent encore.

« Ce n'est pas un des phénomènes les moins curieux que cet appauvrissement successif en principes salins, et surtout en silice, de la plupart des eaux minérales. Sa constance indique assez qu'il est lié à quelque grande cause dont l'action a été progressivement modifiée et affaiblie; or, cette cause est très-probablement la chaleur, car il est bien constant, au moins pour la majeure partie des sources de l'Auvergne, que leur température a sensiblement diminué. On conçoit parfaitement que le volume et la chaleur de ces fontaines s'affaiblissant graduellement, leur richesse en substances minérales, surtout en substances peu solubles, a dû suivre la même progression descendante ¹. »

Il suffit d'admettre le refroidissement graduel du globe, pour se rendre raison de ces singulières différences. Car si nous supposons que la surface d'action où se produisent les eaux minérales est précisément le point où s'opère la combinaison des matières non oxydées, de l'intérieur du globe avec l'oxygène ou l'air atmosphérique qui peut y pénétrer, nous verrons de suite que cette surface, d'abord tout à fait extérieure, s'est rapidement enfoncée et qu'elle doit s'enfoncer encore, quoique très-lentement. Nous concevons, par la même raison, que plus elle était rapprochée de l'extérieur de la terre, plus les communications étaient faciles, et pour l'introduction de l'air, et pour l'émission de l'eau chargée de différentes matières. Dès lors, les sources devaient

être plus abondantes, plus nombreuses et plus chargées qu'elles ne le sont aujourd'hui. Mais à mesure que la surface d'action s'est éloignée, des communications plus difficiles; des réactions moins intenses, ont nécessairement affaibli ces phénomènes, dont la puissance diminue tous les jours. La température des sources a dû s'abaisser graduellement à mesure que les conduits qu'elles avaient à traverser se sont allongés; car ceux-ci commencent au point d'action intérieure et s'ouvrent à la surface, en sorte qu'ils doivent augmenter de longueur à mesure que leur point d'origine s'éloigne du point de sortie; dès lors la température doit diminuer, comme l'a très-bien observé M. Boussingault, en comparant trois sources assez rapprochées, et dont le point de départ doit être sensiblement le même, tandis que l'ouverture arrive à des niveaux différents et donne précisément une température en rapport avec cette différence.

On conçoit parfaitement aussi que ces eaux aient changé de nature, car les différentes matières qui forment le noyau du globe ont dû se disposer par couches, selon leur pesanteur spécifique, et le silicium et quelques autres éléments légers, comparativement aux autres, ont dû gagner la surface, et la terre doit être ainsi formée de couches superposées, qui, toutes, jusqu'à une certaine profondeur, ont été successivement traversées par cette ligne d'action, jusqu'à ce qu'elle ait atteint le niveau où elle est actuellement. Alors chaque zone, en s'oxydant, a donné naissance à des corps particuliers que les eaux ont amenés au jour à des époques différentes. Et si les zones intérieures, qui composent le noyau du globe, s'étaient placées par couches d'égale épaisseur, on pourrait, jusqu'à un certain point, reconnaître le plus ou moins de profondeur de la surface d'action, par la nature du dépôt des sources. Il est très-probable cependant que jamais on ne pourra acquérir ces connaissances, car les nombreuses fractures qui existent dans l'écorce du globe peuvent avoir en une influence marquée sur l'accès de l'air dans l'intérieur et par conséquent sur l'épaisseur de la couche solidifiée.

Nous pouvons donc comprendre à présent toute l'importance de ce phénomène géologique et l'émission si abondante des sources

¹ GIRARDIN, *Analogue des eaux minérales de St.-Alger, et des travertins qu'elles déposent*, p. 35.

thermales dans les premiers temps de la création.

C'est à elles qu'il faut rapporter ces couches immenses de calcaires, qui se déposèrent dans les premières dépressions des terrains cristallisés, qui se mêlèrent comme ciment à plusieurs roches mécaniquement fermées. C'est à la même cause qu'il faut attribuer ces puissants dépôts de craie, avec la multitude de rognons siliceux, qui s'y sont déposés, et plus tard la répétition de ce même phénomène lors du sédiment des marnes et de leurs ménilites. Enfin, en se rapprochant encore de l'époque actuelle, on ne peut leur contester ces nombreuses concrétions qui, dans le centre de la France, se sont meulées autour des masses de phrygane, ni ces nombreux travertins que nous voyons naitre sous nos yeux. Les divers amas de fer hydroxide ont été produits par les sources dont plusieurs déposent encore aujourd'hui une grande quantité d'ocre jaune. Le bitume, une partie des quartz, des calcédoines, et une foule de minéraux n'ont d'autre origine que celle qui nous occupe maintenant. C'est encore aux eaux minérales qu'il faut rapporter en partie les dépôts de sel gemme, la salure des mers, la formation du gypse, et peut-être cette quantité d'acide carbonique qui, selon toute apparence, a longtemps vieilli notre atmosphère, et que la végétation a transformé en couches de houille. Il y a sans doute aussi des filons qui doivent naissance aux eaux, et qui ne sont autre chose que les fentes remplies, qui les mettaient en communication avec l'extérieur du sol.

Si nous connaissions bien la pesanteur spécifique des métaux des terres, si nous possédions leurs caractères comme nous connaissons ceux de la plupart des autres métaux, il est bien probable que nous arriverions à des

conséquences géologiques fort importantes, en comparant ces caractères aux dépôts que les eaux ont abandonnés à des époques différentes.

Les eaux minérales ont eu aussi autrefois la plus grande influence sur la vie organique. Leur température a certainement favorisé le développement de nombreux corps vivants, que nous ne connaissons que par leurs dépouilles; l'acide carbonique qu'elles ont versé dans l'atmosphère, a dû contribuer à cette prompte et vigoureuse végétation des grands végétaux monocolylédénés, en même temps qu'il s'est opposé à l'apparition trop prompte d'animaux à poumons parfaits, qui, selon toutes les apparences, n'ont été créés qu'après l'épuration de l'air qu'ils devaient respirer.

Que l'on compare ces grands résultats aux faibles effets des eaux thermales actuelles, on restera convaincu de leur analogie, et en même temps de l'impuissance des causes actuelles, si nous refusons de reconnaître qu'elles se sont affaiblies et presque anéanties.

D'après cette manière d'envisager les sources minérales, elles doivent finir par s'éteindre, leur température et leur volume doivent graduellement s'affaiblir. Aucune donnée positive, aucune expérience irrécusable n'autorise pourtant cette prévision. Il nous manque des observations précises sur nos sources thermales, ou du moins celles qui ont été faites avec les soins convenables, sont tellement isolées et si rapprochées de notre époque, que nous ne pouvons en tirer aucune conséquence. Notre existence est si courte et les changements sont si lents, que c'est en observant avec précision toutes les sources d'une contrée, que l'on peut jusqu'à présent se rendre compte des modifications que chacune d'elles peut éprouver.

CHAPITRE VINGT-UNIÈME.

DES DÉGAGEMENTS DE GAZ.

On a pu remarquer, dans ce qui précède, que la plupart des eaux minérales arrivent au jour avec une certaine quantité de gaz qui se dégagent en bouillonnant. Dans plusieurs endroits, il sort aussi des matières gazeuses, qui ne sont accompagnées d'aucun liquide, ou s'il en existe, ce n'est jamais que comme accessoire, tandis que dans le chapitre précédent, c'était le gaz qui occupait le second rang.

Il existe dans la terre, des cavités qui renferment des matières gazeuses, qui même quelquefois s'y trouvent très-comprimées, et font effort pour en sortir. Ainsi on observe souvent dans les mines de houille, du gaz hydrogène carboné qui s'échappe avec violence et sifflement, dès qu'il peut pénétrer par les moindres fissures dans les galeries des mines. Plusieurs fois, en creusant des puits artésiens, on a rencontré des cavités ou des terrains poreux, remplis de gaz qui se dégageait abondamment dès que la sonde pénétrait dans la partie du terrain où il se trouvait accumulé. Un des exemples les plus remarquables de ce genre est celui dont M. le comte di Porcia a rendu compte à l'académie des Sciences, dans sa séance du 8 juillet 1833. Un puits artésien fut creusé à Gajarino, près Conegliano, dans le gouvernement de Trieste. Le 23 mai, le forage avait atteint 30 mètres, en traversant les différentes couches d'un terrain d'alluvion, dont la plus inférieure paraissait une argile stratifiée, assez compacte. En remontant la sonde, quand elle fut à la hauteur de 25 mètres environ, et au-dessus de la grande masse d'argile, on entendit dans les tuyaux en fer battu que l'on avait posés, un bruit extraordinaire, très-violent, et au même moment on vit surgir à la surface de la terre, et s'élever à deux mètres de hauteur, un jet de boue sableuse et liquide qui répandait une

odeur sulfureuse et fétide. Il dura quelques minutes, après quoi l'eau reprit son niveau ordinaire à quelques mètres au-dessous du sol. On continua le percement, et chaque fois que l'on remontait la sonde, on entendait le même bruit, et il se dégageait un vent violent. M. le comte di Porcia approcha, pendant l'un de ces dégagements, une lumière du courant gazeux, qui s'enflamma avec violence en formant un jet lumineux de plus de deux mètres de hauteur. Cette flamme dura pendant quelques minutes avec la même force, puis elle diminua et s'éteignit tout à fait. Le 27 mai au soir, voulant faire voir ce phénomène à plusieurs personnes, M. le comte di Porcia fit descendre la sonde jusqu'au fond du puits, et lorsqu'on l'enleva, il surgit tout d'un coup, avec une extrême violence, à plus de 10 mètres de hauteur, une flamme de plus de deux mètres de largeur, avec un mélange d'eau, de sable, de gravier et d'argile. Ce cône de feu dura, à la hauteur de 10 mètres, pendant plus d'un quart d'heure; mais le jet de boue liquide s'affaiblissant peu à peu, la flamme s'abaisa successivement dans la même proportion. Pendant elle dura encore plus de deux heures à 2 mètres de hauteur au-dessus du tuyau avec un éclat des plus brillants.

Mais ce ne sont là que des dégagements partiels et tout à fait accidentels, tandis qu'il existe de véritables sources de gaz dont l'éruption est continue, et parfois excessivement abondante.

Des contrées entières sont criblées de ces sources singulières et souvent invisibles; car si le gaz ne s'échappe pas sous une couche d'eau qu'il fait bouillonner, s'il n'est pas retenu dans des grottes ou des cavernes, si enfin il n'est pas susceptible de s'enflammer spon-

tanément, rien ne dénote sa présence et il se répand librement dans l'atmosphère.

Les gaz qui sortent ainsi du sol sont presque toujours de l'acide carbonique et de l'hydrogène. Ce dernier est rarement pur, il est ordinairement sulfuré ou carboné. L'acide carbonique renferme assez souvent de l'azote, et l'on voit même ce dernier, tout pur, s'échapper aussi des fissures du sol. Presque tous ces corps gazeux sont accompagnés de bitume et principalement de naphte et de pétrole qui leur communiquent une odeur particulière et très-reconnaissable.

Les sources d'acide carbonique sont fréquentes. C'est à une source de cette nature qu'est dû le phénomène de la grotte du Chien, près Pouzzol, en Italie. Cet acide se rassemble sous une voûte qui le retient et forme, dans la partie inférieure de cette grotte, une couche de quelques pieds d'épaisseur, dans laquelle un chien succomberait bientôt à l'asphyxie, tandis qu'un homme debout respire librement dans la couche supérieure composée d'air atmosphérique.

L'Auvergne offre de nombreuses sources semblables, et des grottes tout à fait analogues à celles d'Italie. On en voit à Montjoli, près de Clermont, dont on se sert pour conserver des matières putrescibles, en les plaçant dans ces caves remplies d'acide carbonique, au moyen d'un traîneau que l'on en retire avec une corde.

On connaît aussi près d'Aigueperse un dégagement constant et considérable d'acide carbonique pur. Il s'échappe par une ouverture naturelle, qui existe sur une couche d'argile ou marne bleue. Il y a aussi près de Clermont un terrain où il suffit de percer un trou de sonde, pour obtenir un dégagement abondant de ce gaz.

Le même gaz se dégage avec une extrême abondance de différents points de l'Eifel, contrée volcanique comme l'Auvergne.

« Il existe dans les bois qui entourent le lac Loacher, une source atmosphérique fort curieuse, et qui rappelle, quoique sur une échelle plus petite, la fameuse grotte du Chien. C'est un dégagement souterrain d'acide carbonique qui se fait jour silencieusement à travers le sol, et vient aboutir à une espèce de fosse de deux à trois pieds de profondeur,

pratiquée dans la terre végétale, au milieu des bruyères. Lorsque l'air est calme, la cavité se remplit presque uniquement d'acide carbonique, et il en résulte une asphyxie assez prompte pour les êtres qui viennent y respirer. Le fond du trou est couvert de débris; les insectes, et surtout les fourmis, y arrivent en grand nombre pour chercher leur nourriture; mais, privés d'air, ils y demeurent la plupart; et les oiseaux, à leur tour, apercevant l'appât trompeur, volent vers le piège et y sont pris. Les bûcherons connaissent fort bien cette manœuvre; ils visitent régulièrement l'endroit, et tirent profit de cette chasse dont la nature fait tous les frais ».

C'est aussi quelquefois de l'air atmosphérique qui s'échappe du sein de la terre.

Les puits forés dans la grande masse de calcaire siliceux qui est à l'est et au sud-est de Paris, nous en offrent de nombreux exemples. Le plus remarquable est celui du puits foré, fait à Nangis, près de Melun. Ce puits, percé à plus de 60 mètres dans le calcaire siliceux, sans aucune indication d'eaux jaillissantes, a présenté le phénomène d'un courant d'air des plus violents, et qu'on ne pouvait comparer qu'à celui d'une grosse soufflerie de forge. Ce courant présentait en outre la propriété singulière de s'affaiblir avec une sorte d'intermittence, à certaines heures de la journée ».

M. de Thury croit qu'il est produit par de l'air atmosphérique entraîné dans des cavités, par des courants d'eau souterrains. Ce serait alors un phénomène qui n'appartiendrait pas à la division dont nous nous occupons en ce moment.

L'hydrogène pur, mais plus souvent sulfuré ou carboné, étant susceptible de brûler avec une grande facilité, on voit quelquefois le gaz s'enflammer naturellement, et continuer ainsi pendant de très-longs intervalles. M. de Humboldt en cite un exemple fort curieux.

« Vis-à-vis la ferme de Bermudez, deux

¹ JEAN REYNAUD, sur les Formations volcaniques des bords du Rhin, *Annales des Mines*, 3^e série, t. II, p. 395.

² Notice sur quelques phénomènes qui ont accompagné le percement des puits artésiens dans les Pyrénées-Orientales, par M. Héricart de Thury, *Annales des Mines*, 3^e série, t. IV, p. 525.

cavernes spacieuses s'ouvrent dans la crevasse du Cuchivano. Il en sort de temps en temps des flammes que l'on distingue de très-loin pendant la nuit. Les montagnes voisines en sont éclairées; et, à juger par la hauteur des rochers au-dessus desquels ces émanations enflammées s'élèvent, on serait tenté de croire qu'elles dépassent plusieurs centaines de pieds. Ce phénomène a été accompagné d'un bruit souterrain sourd et prolongé, à l'époque du dernier tremblement de terre de Cumana. On l'observe surtout pendant la saison des pluies, et les propriétaires des fermes situées vis-à-vis de la montagne de Cuchivano, assurent que les flammes sont devenues plus fréquentes depuis le mois de décembre de l'année 1797¹. »

Les feux de Pietra-Mala, situés dans la région la plus élevée des Apennins, entre Bologne et Florence, sont célèbres depuis longtemps, et Lalande en a donné le premier une description exacte.

« Le plus beau spectacle, dit-il, que la physique offre dans ces montagnes, est le feu de la Pietra-Mala. Le terrain d'où cette flamme s'exhale a dix ou douze pieds en tout sens; il est sur le penchant d'une montagne, à mi-côte, parsemé de cailloux comme le reste du territoire, sans aucune fente ni crevasse..... Cette flamme est bleue en certains endroits, rouge dans d'autres, si vive, surtout quand le temps est pluvieux et que la nuit est obscure, qu'elle éclaire toutes les montagnes voisines. Lorsque je l'ai vue, le 24 octobre 1765, par une nuit froide et humide, il sortait de deux endroits deux tourbillons d'une flamme très-vive, d'environ un pied de diamètre et un pied de haut. Dans le reste du terrain, il y avait de petits flocons d'une flamme légère et bleue, semblable à celle de l'esprit-de-vin; ils sortaient d'entre les cailloux et voltigeaient sur la surface du terrain.... »

« L'odeur de cette flamme, ajoute Lalande, m'a paru difficile à distinguer, à cause du vent qui l'emportait avec force; c'était une odeur qui tenait un peu du soufre ou plutôt de l'huile de pétrole. J'ai ouï dire à un phy-

sicien que c'était une odeur de *benjoin* très-décidée qu'il y avait reconnue. Madame Laura Blassi me disait qu'elle y trouvait une odeur approchant de celle qu'on aperçoit quelquefois dans les expériences de l'électricité. Il est vrai, ajoute Lalande, que, quand le temps est disposé au tonnerre, la flamme de la Pietra-Mala redouble de vivacité, ce qui semblerait indiquer quelque rapport avec le feu électrique². »

Spallanzani a recueilli dans neuf endroits différents, les gaz qui servent d'aliment à ces feux; et après diverses expériences, il a reconnu qu'ils sont tous de la même nature; c'est partout du *gaz hydrogène*, mais il a l'odeur moins désagréable que celui qu'on obtient par les dissolutions de *fer* ou de *zinc* dans les acides.

Il existe aussi en Dauphiné, près du village de St.-Barthélemy, à quatre lieues au sud de Grenoble, des feux semblables à ceux de la Pietra-Mala, qui sont connus sous la dénomination très-impropre de *fontaine ardente*. Guettard et Montigny, qui les ont décrits les premiers, y indiquent très-clairement la présence du *gaz hydrogène*.

Des phénomènes semblables se sont montrés en Amérique et surtout en Asie.

Dans des recherches d'eau salée faites à Rocky-Hill, dans l'État de l'Ohio, près du lac Érié, la sonde, après avoir percé une profondeur de 197 pieds, tomba tout à coup; des eaux salées jaillirent au même instant, et après avoir coulé pendant plusieurs heures, firent place à une quantité considérable de gaz, qui, ayant été enflammé par un feu voisin, brûla tout ce qui se trouvait à sa portée. Il paraît aussi que M. Ræders, inspecteur des mines de sel de Gotesgabe, à Reine, dans le comté de Tecklenberg, se sert, depuis deux ou trois ans, d'un gaz inflammable, qui sort de ces mines, non-seulement pour l'éclairage, mais pour les usages de sa cuisine. Il le tire des travaux souterrains qui ont été abandonnés, et le conduit, par des tuyaux, jusque dans sa maison. Un jet continu de ce gaz, qui paraît être de l'hydrogène carboné, s'échappe, depuis soixante ans, de l'une de ces mines³.

¹ LALANDE, *Voyage en Italie*, t. II, p. 135, édit. in-8°.

² *Transact. new philosoph. Soc. and Edinb. philos. Journal*, cités par Lalande.

³ HUMBOLDT, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. III, p. 89.

On connaît en Chine un grand nombre de ces dégagements de gaz combustible, et l'on a su les utiliser dans plusieurs endroits.

Les plus célèbres puits à feu sont ceux du Iru-Tehhnan; ils se trouvent toujours dans le voisinage des salines, qui sont très-fréquentes dans cette province. Nous devons des détails curieux sur ceux du département de *Kia ling fou*¹, ville située par 101° 28' 48" de longitude E., et 29° 27' de latitude N., à M. Imbert, missionnaire français, qui réside encore dans cette contrée.² Il y a, dit-il, quelques dizaines de mille de puits salants dans un espace d'environ dix lieues de long sur 4 ou 5 lieues de large. Chaque particulier un peu riche se cherche quelque associé, et creuse un ou plusieurs puits : la dépense ordinaire est de 7 à 8,000 francs.

L'air qui sort de ces puits est très-inflammable. Si l'on présentait une torche à l'ouverture du puits quand le tube plein d'eau est près d'y arriver, il s'enflammerait en une grande gerbe de feu de vingt à trente pieds de haut, et brûlerait la halle avec la rapidité et l'explosion de la foudre. Cela arrive quelquefois soit par imprudence, soit par la méchanceté d'un ouvrier qui veut se suicider en compagnie.

Les grands puits de feu sont à *Thsee lieou tsing*³, bourgade située dans les montagnes, au bord d'une petite rivière; il y a aussi des puits de sel creusés de la même manière qu'à Ou thung Khiao. Dans une vallée voisine, se trouvent quatre puits qui donnent du feu en une quantité vraiment effroyable, et point d'eau. Ces puits, dans le principe, ont donné de l'eau salée; l'eau ayant tari, en creusa, il y a environ quatorze ans, jusqu'à 3,000 pieds et plus de profondeur, pour trouver de l'eau en abondance: ce fut en vain; mais il sortit soudainement une énorme colonne d'air qui s'exhala en grosses particules noires. Cela ne ressemble pas à la fumée, mais bien à la vapeur d'une sournaise ardente: cet air s'échappe avec un bruissement et un roulement affreux qu'on entend fort loin.

¹ Ils sont situés dans les territoires des villes Young hian, 102° 7' long. est, 29° 53' lat. nord. Wei yian, 102° 12', 29° 58'.

² 102° 29' — 29° 27' — Le nom de *Thsee lieou tsing* signifie puits qui coule de lui-même.

L'orifice du puits est surmonté d'une caisse de pierre de taille qui a six ou sept pieds de hauteur, de crainte que, par inadvertance ou par malice, quelqu'un ne mit le feu à l'embouchure du puits: ce malheur est arrivé il y a quelques années. Dès que le feu fut à la surface du puits, il se fit une explosion affreuse et un assez fort tremblement de terre. La flamme qui avait environ deux pieds de hauteur, voltigeait sur la surface du terrain, sans rien brûler. Quatre hommes se dévouèrent, et portèrent une énorme pierre sur l'orifice du puits; aussitôt elle vola en l'air. Trois hommes furent brûlés; le quatrième échappa au danger. Ni l'eau ni la boue ne purent éteindre le feu. Enfin, après quinze jours de travaux épiuiés, on porta de l'eau en quantité sur la montagne voisine; en y forma un lac, et on lâcha l'eau tout à coup; elle vint en quantité avec beaucoup d'air, et elle éteignit le feu. Ce fut une dépense d'environ 50,000 francs, somme considérable en Chine⁴.

Un autre *hosieng* ou puits de feu très-célèbre existait autrefois dans le Iru Tehhnan, à 80 li sud-ouest de la ville actuelle de Khiong Teheou⁵, et au sud de la montagne Siang Thaichan. Il avait 3 pieds chinois de largeur, et sa profondeur était outre deux et trois toises. La flamme en sortait sans interruption et avec un bruit semblable à celui du tonnerre; elle s'élevait si haut, qu'elle éclairait, pendant la nuit, tout le pays, sur une étendue de quelques dizaines de li. Les habitants du voisinage conduisaient le gaz inflammable du puits, pas des tuyaux de bambou, dans leurs maisons. Deux sources salées décollaient de ce puits, dont l'eau ébouillie donnait 50 pour cent de sel. Le feu du puits est actuellement éteint; mais il a brûlé, d'après ce qu'on sait, depuis le 11^e jusqu'au 13^e siècle de notre ère⁶.

Les simples dégagements de gaz se compliquent quelquefois de petites éruptions boueuses qui, dans certaines circonstances, sont accompagnées d'une légère détonation. Il en résulte alors un phénomène que l'on

⁴ Ces détails sont extraits de l'ouvrage de M. de Humboldt, intitulé *Climats asiatiques*, p. 106.

⁵ Par 101° 6' longit. est, 30° 27' lat. nord.

⁶ Klaproth, cité par Humboldt. *Climats asiatiques*, t. I, p. 298.

pourrait dire intermédiaire entre les simples dégagements de gaz et les véritables volcans, si tous ces effets n'étaient pas intimement liés et n'avaient pas pour point de départ la surface d'action dont nous avons parlé en décrivant les eaux minérales. Cependant on donne aux petites éruptions que nous allons décrire le nom de *salses*, *volcans d'air*, *volcans d'eau*. On les a observées dans le Milanais, en Sicile, en Crimée, en Chine, en Tartarie, en Amérique, etc. Les gaz qui se dégagent sont un mélange d'hydrogène carboné et d'acide carbonique, quelquefois même de l'azote pur. Il se forme autour des trons de petits cônes terreux, dont la hauteur ordinaire est de trois, quatre, cinq à six pieds, et qui s'élèvent même jusqu'à 150. L'eau est chargée de sel marin, ordinairement froide, quelquefois chaude, et l'on rencontre presque toujours du bitume dans le voisinage. On a observé que les salses étaient plus actives après les temps de pluie, et que quelquefois les gaz qui s'en dégagent s'enflammaient naturellement.

Les salses de Salsuolo, près Modène, ont été décrites par Spallanzani, qui les considérait comme des volcans en miniature. On y observe un cône tronqué à l'extérieur, formant intérieurement un entonnoir renversé. Les matières terreuses, agitées et quelquefois lancées en haut, se versent plus souvent sur les côtés et forment de petits courants. Ces cônes s'ouvrent; ils donnent naissance à plusieurs bouches, et, comme les volcans, ils sont en furie, ils détonnent, produisent de petits tremblements de terre, et s'abandonnent aussi quelquefois au repos.

Les salses de Sicile sont situées près de Girgenti ou l'ancienne Agrigente. Strabon et Solin les mentionnent déjà.

« La campagne d'Agrigente, dit ce dernier, vomit des torrents de limon, et comme l'eau des sources alimente sans cesse les ruisseaux, de même ici le sol inépuisable tire perpétuellement de son sein une matière terreuse qui ne tarit jamais. »

Dolomieu, qui les visita en 1781, les a décrites avec soin. Elles sont situées dans un lieu nommé Macalouba, sur la côte méridionale de la Sicile.

« Le sol du pays est calcaire; il est recou-

vert de montagnes et de monticules d'argile, dont quelques-uns ont un noyau gypseux. Après une heure de marche, je trouvai, dit-il, le lieu qui m'était désigné. J'y vis une montagne d'argile, à sommet aplati, dont la base n'annonçait rien de particulier; mais sur la plaine qui la termine, j'observai le plus singulier phénomène que la terre m'eût encore présenté.

« Cette montagne, à base circulaire, représente imparfaitement un cône tronqué; elle peut avoir cent cinquante pieds d'élévation; elle est terminée par une plaine un peu convexe, qui a un demi-mille (ou 400 toises) de tour. On voit sur ce sommet un très-grand nombre de cônes tronqués. Le plus grand peut avoir 2 pieds et demi; les plus petits ne s'élèvent que de quelques lignes; ils portent tous sur leur sommet de petits cratères en forme d'entonnoirs, proportionnés à leur monticule. Le sol sur lequel ils reposent est une argile grise et desséchée, qui recouvre un vaste et immense gouffre de boue, dans lequel on court le plus grand risque d'être englouti.

« L'intérieur de chaque petit cratère est toujours humecté. Il s'élève à chaque instant, du fond de l'entonnoir, une argile grise délayée, à surface convexe. Cette bulle, en crevant avec bruit, rejette hors du cratère l'argile qui coule à la manière des laves sur les flancs du monticule. L'intermittence est de deux ou trois minutes.

« Je trouvai, ajoute Dolomieu, sur la surface de quelques-unes de ces cavités, une pellicule d'huile bitumineuse, d'une odeur assez forte, que l'on confond souvent avec celle du soufre.

« Cette montagne a ses moments de grande fermentation, où elle présente des phénomènes qui ressemblent à ceux qui annoncent les éruptions dans les volcans ordinaires. On éprouve, à une distance de deux ou trois milles, des secousses de tremblements de terre souvent très-violentes. Il y a des éruptions qui élèvent perpendiculairement, quelquefois à plus de deux cents pieds, une gerbe d'argile détrempée. Les explosions se répètent trois ou quatre fois dans les 24 heures; elles sont accompagnées d'une odeur fétide, de *foie de soufre* (ou *gas hydrogène sulfuré*), et quelquefois, dit-on, de fumée. Dans la description

faite par un témoin oculaire d'une éruption antérieure, et qui est rapportée par Dolomieu, il dit que l'éruption commença par une espèce de fumée qui, sortant du gonffre, s'éleva à la hauteur de quatre-vingts palmes, et avait, en quelques parties, la couleur de la flamme.

« Dans les environs, à un demi-mille de distance, il y a plusieurs monticules où l'on voit les mêmes effets, mais en petit; on les nomme, par diminutif, *Macaloubettes* ¹. »

Pallas décrit aussi un phénomène analogue que présente la presqu'île de Kertche, et l'île de Taman, dans la partie orientale de la Crimée.

« L'explosion, dit Pallas, s'est faite à cet endroit, avec un fracas semblable à celui du tonnerre, et avec l'apparition d'une gerbe de feu, qui n'a duré qu'environ trente minutes, accompagnée d'une fumée épaisse. Cette fumée et l'ébullition la plus forte ont duré jusqu'au lendemain; après quoi la vase liquide a continué à déborder lentement, et a fourni six coulées, lesquelles, du faite de la colline, se sont répandues dans la plaine. La masse de vase qui forme les conlées épaisses de trois jusqu'à cinq archines (de six à dix pieds et plus), pent être évaluée à plus de cent mille toises cubes ². »

M. de Humboldt a aussi étudié en Amérique le phénomène des salses, et a joint à sa description une des plus magnifiques planches de son important voyage. Elle représente les salses de Turbaco. Dans une herborisation que fit cet illustre voyageur, des Indiens lui indiquèrent un terrain marécageux situé au milieu d'une forêt de palmiers, et qu'ils désignaient sous la dénomination de petits volcans (*los volcancitos*). Ils racontaient que, d'après une tradition consacrée dans le village, ce terrain avait été jadis enflammé; mais qu'un bon religieux, connu par sa piété, était parvenu, au moyen de fréquentes aspersions d'eau bénite, à éteindre le feu souterrain et à convertir le volcan de feu en un volcan d'eau, *volcan de agua*.

« Sans croire aux prétendues traditions de Turbaco, dit M. de Humboldt, nous nous

fîmes conduire par les Indiens aux *volcancitos* de la forêt, nous y trouvâmes le phénomène des salses ou volcans d'air dont l'étude n'est pas sans intérêt pour la connaissance si importante des éruptions boueuses.

« Dans une partie de cette forêt, très-abondante en palmiers, se trouve une clairière de 800 pieds en carré, entièrement dépourvue de végétation, mais bordée de touffes de bromelia karatas, dont la feuille ressemble à celle des ananas communs. Ce terrain n'offre à sa surface que des couches d'argile gris-noirâtre, fendillées par dessèchement en prismes pentagones et heptagones. Ce que l'on appelle les *volcancitos* sont 15 à 20 petits cônes tronqués qui s'élèvent au milieu de la clairière; ils ont 5 à 4 toises de hauteur. Les plus élevés se trouvaient du côté du midi, et leur base avait, lors de mon séjour dans ces lieux, une circonférence de 220 à 240 pieds ³.

« Ces cônes sont formés d'une argile gris-noirâtre : à leur sommet se trouve une ouverture remplie d'eau; lorsqu'on approche de ces petits cratères, on entend par intervalle un bruit sourd et assez fort, qui précède de 15 à 18 secondes le dégagement d'une grande quantité d'air. La force avec laquelle cet air s'élève au-dessus de la surface de l'eau, pent faire supposer que, dans l'intérieur de la terre, il éprouve une grande pression : j'ai compté généralement cinq explosions en deux minutes. Souvent ce phénomène est accompagné d'une éjection boueuse. Les Indiens nous ont assuré que les cônes ne changent pas sensiblement de forme dans l'espace d'un grand nombre d'années; mais la force d'ascension du gaz et la fréquence des explosions paraissent varier selon les saisons ⁴. »

Le gaz que dégagent en abondance ces petits cônes d'argile, analysé par M. de Humboldt, s'est trouvé de l'azote ne contenant pas un demi-centième d'oxygène.

Une éruption analogue à celle des salses vient d'avoir lieu récemment dans le comté d'Antrim en Irlande. Le théâtre de l'éruption fut le marais de Sloggan, le plus considérable

¹ Voyage aux îles de Lipari, p. 155 à 168.

² PALLAS, *Tauride*, p. 39.

³ HUMBOLDT, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. XII, p. 358.

⁴ Idem, *Vues des Cordillères*, etc., t. II, p. 210.

de ceux qui se trouvent au nord de l'Irlande; il couvre presque en entier un espace de onze mille acres de terrain: il est situé à 7 milles de Ballymens, et à 2 milles de Randalstown; la grande route de Belfast à Londonderry le divise pour ainsi dire en deux.

« Ce fut le 17 septembre 1855 que l'éruption commença; depuis quelques jours, le marais se soulevait graduellement au centre; il avait ainsi atteint une élévation de 30 pieds, lorsque, à 5 heures de l'après-midi, un bruit pareil au mugissement d'un vent très-violent se fit entendre, la masse entière du marais s'abaissa de quelques pieds, et un fleuve de boue se mit lentement en mouvement; son cours fut arrêté à une distance de quelques perches, par des fouds profonds, des marais, de légères éminences, et d'autres obstacles contre lesquels sa force s'épuisa, durant la nuit du 17 au 18. Pendant toute la journée du 18, il n'avança que de 15 perches environ. Dans la nuit du 18 au 19, la masse tourbeuse demeura stationnaire, mais elle se gonfla comme dans les jours qui avaient précédé l'éruption; et le 19, vers le milieu de la journée, elle fit entendre le même bruit. L'éruption se traîna lentement jusqu'au 21, jour auquel elle n'avait atteint encore que la distance d'environ un quart de mille depuis son origine; son cours ayant été intercepté par des masses de foin et de blé, elle resta à peu près stationnaire jusqu'au 23. Ce jour-là, vers trois heures du soir, elle se précipita tout à coup en avant, avec une vitesse si grande qu'il était impossible de la suivre à pied. Le 24, elle atteignit la grande route, pénétra dans une chaumière, autour de laquelle elle s'éleva à la hauteur de 10 pieds, puis se précipita sur le chemin comme une cascade de boue, en produisant le même bruit qu'une immense chute d'eau, et l'eut bientôt recouvert, sur une étendue de 300 yards (900 pieds), d'une masse boueuse de 10 pieds de haut; puis elle descendit de la vallée qui, pendant l'espace d'un demi-mille, est légèrement en pente, et arriva jusqu'au bord de la rivière Maine. Dans le jour suivant, la masse se précipita dans la rivière qui, dans cet endroit, n'a que 4 pieds de profondeur, en interceptant le cours pendant plusieurs heures, et s'étendit sur l'autre rive; mais bientôt la rivière, élevée à la hauteur

de cette digue, acquit assez de force pour la briser, et la masse boueuse fut entraînée par le courant. Pendant les trois jours suivants, le marais ne discontinua pas de couler dans la Maine; c'est seulement le 28 que l'éruption cessa, après avoir duré dix jours.

« Le passage de cette masse boueuse au travers de la rivière fit périr une quantité immense de poissons; on recueillit plusieurs quintaux de saumons et de truites. Quinze jours après cette éruption, M. Hunter ayant été visiter ce marais, n'aurait pas soupçonné, s'il ne l'eût su, qu'il avait subi un tel bouleversement; seulement, il s'était abaissé de 20 pieds au-dessous de son niveau ordinaire, et un petit étang circulaire occupait le creux de la partie centrale. Cette circonstance rappelle les étangs circulaires qui se sont formés en Calabre pendant les tremblements de terre de 1795¹. »

Le phénomène des sêles ne se produit pas toujours aussi paisiblement que dans les derniers exemples que nous venons de rapporter. Il en existe qui sont presque toujours effrayantes et dont les éruptions ont une certaine puissance. Telles sont les sêles de Bakou sur le bord de la mer Caspienne. Elles sont éloignées de 15 verstes à l'E.-N.-E. de cette ville. Les habitants les désignent sous le nom de *Atch-gah*, ou lieux à feu. « Il serait à présent très-difficile de dire si ces feux se sont allumés d'eux-mêmes. Les gens du pays et les Hindous ignicoles qui s'y sont établis au nombre de vingt environ, prétendent que ces feux brûlent depuis la création du monde; mais on sait que le peuple est enclin à regarder comme existant de toute éternité tout phénomène qui date de plusieurs générations. Cependant l'éruption qui arriva le 27 novembre 1827, près du village de *Jokmatli*, à 14 verstes à l'ouest de Bakou, se manifesta d'abord par une colonne de feu dans un lieu où l'on ne voyait pas de flamme auparavant. Cette colonne de feu se soutint, pendant 3 heures, à une hauteur extraordinaire, baissa ensuite jusqu'à celle de 3 pieds, et brûla ainsi pendant 24 heures. Ce phéno-

¹ Détails sur l'éruption d'un marais tourbeux (*bog*) dans le comté d'Antrim en Irlande, par M. W. P. Hunter. *Institut*, 4^e année.

mène pourrait faire croire que les grands feux de Bakou auraient eu une origine semblable; mais il faut observer qu'à Jokmali, l'apparition de cette colonne de feu fut accompagnée d'une éruption de limon argileux, qui souleva de deux à trois pieds tout le terrain qu'il a couvert sur une largeur de 130 à 200 toises. Du reste, l'aspect de ce lieu démontre que des éruptions antérieures y ont déjà eu lieu; l'argile grise de la dernière, existe sur un terrain de même nature, mais qui a beaucoup plus d'étendue, car c'est une plaine revêtue d'argile brune et sur laquelle on ne rencontre aucune trace de végétation. Ce terrain est incontestablement d'origine volcanique, et l'argile, originairement grise; n'est devenue brune que parce que le fer qu'elle contient a été oxydé par l'action continue de l'air atmosphérique. A l'*Atechgah*, on ne voit pas cette couche d'argile; le feu principal qui brûle dans la cour de l'habitation des Hindous, sort d'un roc calcaire ou coquillier qui a une inclinaison de 25° au S.-E. Le feu sort des fentes, dont il rend les parois bleuâtres. Actuellement les Hindous ont muré la plupart de ces fissures pour réunir le gaz dans quatre bouches principales. Par conséquent, si le gaz qui brûle en cet endroit doit son origine à une colonne volcanique de feu, cette éruption n'a pas été accompagnée d'éjections argileuses. »¹

Indépendamment des *grands feux*, il y en a aussi de petits à l'ouest de Bakou, à peu près à 3 verstes de la salse de Jokmali; mais ceux-ci sont éteints tous les ans par la pluie ou par la neige; ils étaient du moins dans cet état quand M. de Humboldt les visita au mois de mars². Ils sont, du reste, faciles à rallumer, et le gaz qui leur donne naissance, se trouve dans le sol en si grande abondance

que les habitants de cette contrée n'emploient pas d'autre combustible. Il suffit de creuser le sol pour obtenir un dégagement, et souvent on se contente d'y enfoncer un roseau qui amène le gaz et que l'on allume à l'extrémité qui le laisse échapper.

On a vu dans tout ce qui précède que le gaz inflammable était généralement accompagné d'eau salée et de bitume, et l'on remarque la même association dans tous les lieux où s'opèrent de semblables phénomènes. Ainsi, en Auvergne, au puy de la Poix, où il y a, de temps immémorial, une source de pissasphalte, il y a aussi production d'eau salée et dégagement d'une grande quantité d'hydrogène sulfuré. En Tartarie, où existent d'abondantes sources de naphte, elles sont encore accompagnées de sel marin.

On pourrait supposer avec vraisemblance que ces bitumes et ces gaz proviennent de la décomposition des matières organiques enfouies dans les terrains de sédiment; mais on a des exemples de sources de bitume sortant de terrains cristallins, puisque, dans le golfe de Curiaco, une abondante émission de pétrole a lieu dans un terrain de micasehiste³.

Nous ne reviendrons donc pas sur ce que nous avons déjà dit en parlant de la théorie des eaux minérales; il nous semble que l'on doit regarder les dégagements de gaz et de bitume comme produits par des actions tout à fait semblables à celles qui créent les eaux minérales; seulement, dans quelques cas particuliers, l'action paraît plus intense, et il n'est pas douteux que le phénomène des salses, comme celui des eaux thermales et des volcans, n'ait joué un rôle plus actif avant l'épaississement de l'écorce ligée de notre planète.

² Humboldt, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. X, p. 266.

¹ Humboldt, *Climats asiatiques*, t. I, p. 172.

CHAPITRE VINGT-DEUXIÈME.

DES TREMBLEMENTS DE TERRE.

Toutes les parties de la terre sont exposées à des secousses plus ou moins violentes, et qui occasionnent quelquefois les accidents les plus graves. Ce phénomène semble cependant plus fréquent en certains lieux que dans d'autres ; ainsi les îles y sont plus exposées que les continents, les rivages plus que l'intérieur des terres, et les contrées voisines de l'équateur plus que les pays rapprochés des pôles.

On a remarqué aussi que les tremblements de terre avaient lieu principalement dans les terrains volcaniques et surtout dans les pays couverts de volcans éteints ou peu actifs, auxquels ils paraissent, du reste, intimement liés, car souvent ils précèdent les éruptions, et quelquefois aussi ils les accompagnent.

On ignore encore si les tremblements de terre sont indépendants de l'état de l'atmosphère ; il est bien probable cependant que des secousses assez puissantes pour ébranler une partie de l'énorme croûte solide, qui revêt notre planète, qu'une force capable de fendre le terrain, de le briser de mille manières, de le soulever, et de renverser les villes et leurs palais, doivent avoir sur une atmosphère mobile et capable d'être pénétrée par plusieurs fluides, une action toute spéciale, que nos sens ne peuvent peut-être pas distinguer, mais qui n'en existe pas moins. On a remarqué que les secousses arrivent principalement à la suite des années très-pluvienses ; elles sont quelquefois précédées ou suivies d'ouragans, de météores ignés, de vapeurs qui sortent de la terre ; l'air est rouge et comme embrasé, le ciel est couvert de nuages épais et noirs ; le temps est lourd, accablant ; on entend un tonnerre souterrain ; les animaux paraissent souffrants et plaintifs ; les oiseaux crient et s'agitent ; les sources s'arrêtent ou se troublent ; la mer mugit et se soulève d'une ma-

nière brusque et furieuse ; elle se retire tout à coup et revient inonder les terres ; les vaisseaux s'entrechoquent dans le port, ils éprouvent même en pleine mer des secousses subites et violentes, comme s'ils donnaient contre un rocher.

Les tremblements de terre ne sont quelquefois que momentanés. Souvent ils se prolongent pendant des semaines et des mois entiers ; on en a vu, au Pérou, se répéter chaque jour pendant plusieurs années de suite. Dans certaines contrées, ils sont, en quelque sorte, périodiques. A la Jamaïque, on doit s'attendre à cet événement tous les ans. Le choc produit par un tremblement de terre, ne détermine pas toujours la même espèce de mouvement dans le sol ; tantôt ce sont des ondulations plus ou moins violentes, qui détruisent promptement tous les édifices, et qui ressemblent au roulis d'un vaisseau sur une mer agitée ; tantôt c'est une simple trépidation, comme si la terre était simplement choquée en un seul point.

Un fait qui a toujours paru fort remarquable, c'est la rapidité prodigieuse avec laquelle les commotions souterraines se communiquent depuis leur foyer principal jusqu'à des distances de plusieurs centaines de lieues.

Le tremblement de terre affreux de 1755, dont le foyer se trouvait à Lisbonne, se fit sentir presque au même instant, sur les côtes occidentales de l'Europe jusqu'en Danemark, et sur les côtes d'Afrique, où il renversa plusieurs villes des royaumes de Fez et de Maroc.

Les tremblements de terre, de même que les éruptions volcaniques, datent des siècles les plus reculés ; il est probable même, comme le pense Buffon, qu'ils ont précédé les éruptions ; mais ceux dont les historiens nous ont transmis la mémoire, ne remontent pas (au

moins d'une manière certaine) au delà de l'ère ébraïenne.

« Avant de chercher à connaître les causes qui peuvent produire ou modifier les tremblements de terre, nous allons passer en revue quelques exemples que nous classerons par ordre chronologique, et que nous choisirons parmi ceux qui offrent le plus d'intérêt, sous le rapport des caractères qu'ils ont pu imprimer aux terrains qui ont été atteints par leurs secousses.

L'an 17, sous l'empire de Tibère, tremblement de terre dans l'Asie Mineure, qui renversa douze villes.

L'an 115, sous Trajan, Antioche, capitale de la Syrie, fut détruite si subitement que le consul Pédon y périt, et que l'empereur Trajan, qui s'y trouvait alors, ne s'en sauva qu'avec peine.

En 538, tremblement de terre qui se fit sentir en Asie, en Macédoine et dans le royaume de Pont, d'une manière si violente, qu'il causa la destruction de cent cinquante villes, et, entre autres, de Nicomédie (aujourd'hui Ismide), en Natolie.

En 528, Antioche fut renversée pour la seconde fois. Il y périt quarante mille âmes.

En 580, du temps de saint Grégoire, elle éprouva, pour la troisième fois, une semblable catastrophe. Soixante mille habitants furent écrasés sous ses ruines.

En 742, 746 et 749, les tremblements de terre furent si multipliés et si terribles en Égypte et dans tout l'Orient, que six cents villes, dit-on, furent culbutées.

En 1182, sous le sultan Saladin, la plupart des villes de Syrie et de Judée éprouvèrent le même fléau.

En 1405, sous l'anti-pape Benoît XIII, Rome fut ravagée par un tremblement de terre. Ce fut le quarante-troisième qu'elle avait éprouvé depuis l'ère chrétienne.

Buffon dit que, sous le pontificat de Pie II (qui régna de 1458 à 1464), la ville de Naples fut tellement secouée par un tremblement de terre, que les églises et les palais furent tous renversés, et qu'il y périt trente mille personnes.

En 1532, Lisbonne éprouva un désastre semblable à celui dont elle fut de nouveau la victime en 1755, et d'après le rapport de Paul Jove, historien contemporain, il paraît

que les circonstances furent absolument les mêmes.

En 1586 et 1596, les deux villes capitales du Japon, Iedo et Meaco, furent entièrement désolées.

En 1660, un tremblement de terre assez violent se fit sentir à Bordeaux. Guy Patin, qui en parle (lettre 186), observe que ce fut trois ans avant que Louis XIV y fit son entrée. La même secousse s'étendit en Auvergne et dans les Pyrénées, où elle se prolongea pendant trente-six heures.

En 1692, un épouvantable tremblement de terre se fit sentir à la Jamaïque, dans une direction parallèle à la surface du terrain. Le sol fut gonflé et semblait onduler, comme si c'eût été la surface de la mer. L'île fut traversée par de nombreuses crevasses; deux ou trois cents d'entre elles s'ouvrirent et se fermèrent avec rapidité. Un grand nombre d'habitants furent engloutis dans ces déchirures. Quelques-uns en sortirent ensuite, rejetés sur le sol par une grande quantité d'eau qui s'en échappait; d'autres furent étouffés par ces déchirures, pressés de droite et de gauche dans des terres qui se rapprochaient, et qui ne laissèrent qu'une partie de leurs corps hors de ces crevasses. La ville de Port-Royal, qui contenait plus de 2,000 maisons, fut presque entièrement détruite. La mer fut agitée comme dans une tempête, et la violence des vagues fut telle, dans le port, que plusieurs vaisseaux rompirent leur câble et furent emportés de dessus leurs ancres. Les maisons voisines de la mer s'écroulèrent à la fois, et d'énormes vagues les convrirent aussitôt. La frégate le *Cygne*, qui était en radoub le long du quai, fut poussée par les vagues au-dessus du faite des maisons, et sauva la vie à plusieurs centaines de personnes qui s'y réfugièrent. Plusieurs maisons s'enfoncèrent verticalement, et quelques-unes même avaient encore leur partie supérieure au-dessus des eaux. Elles ont, depuis cette époque, été complètement englouties; mais, par un temps calme, on voit encore, près de la nouvelle ville, les ruines de l'ancienne sous les eaux.

1693. Le 11 janvier, de violentes secousses se firent sentir en Sicile; Catane et quarante-neuf autres villes furent détruites; il périt 100,000 individus. Vicento-Banajutus, qui

rapporte cet événement, dit que le fond de la mer s'enfonça à une grande profondeur dans les ports, les baies, et toutes les parties ouvertes de la côte, tandis que, sur d'autres points, l'eau s'élevait en bouillonnant sur le rivage. De nombreuses et longues fissures de différentes largeurs s'ouvrirent dans diverses directions; quelques-unes lancèrent de l'eau sulfureuse, et l'une d'elles, dans la plaine de Catane, à quelques milles de la mer, rejeta de l'eau salée. Dans la ville de Noto, à six lieues au sud-ouest de Syracuse, les pierres des édifices d'une des principales rues, sur une longueur d'un quart de lieue, coulèrent sur leur base, et demeurèrent sur les côtés; dans une autre rue, s'ouvrit une crevasse assez large pour engloutir un homme à cheval.

1698. Le 19 juillet, une violente secousse ébranla tellement le voleau de Carguairazo, situé près de Quito, qu'une partie du cratère et du sommet de la montagne s'écroula avec fracas, pendant qu'une profonde crevasse s'ouvrait sur les flancs et laissait échapper un torrent d'eau et de boue.

1699. Pendant cette année, 208 secousses se firent sentir à l'île de Java, et plusieurs étaient extrêmement violentes. Plusieurs maisons s'écroulèrent à Batavia. Le Mont-Salak, qui en est éloigné de six journées, fit entendre un bruit épouvantable, et de Batavia, on aperçut la lueur des flammes qui s'échappaient de son cratère. Le lendemain matin, la rivière de Batavia, qui prend sa source au pied de cette montagne, se grossit tout à coup, devint bourbeuse, et entraîna une grande quantité de buissons et d'arbres à moitié brûlés. Le lit de la rivière ayant été soulevé, l'eau fut arrêtée dans son cours, et inonda tous les environs. Les jardins situés autour de la ville, et quelques-unes de ses rues, furent couverts de poissons morts. Un grand nombre de buffles, de tigres, de rhinocéros, de singes, et d'autres animaux sauvages, furent entraînés par le courant, et les crocodiles, malgré leur faculté de vivre sur la terre ou dans l'eau, furent trouvés morts au milieu de ces cadavres. Sept collines voisines de la rivière s'enfoncèrent. Ces collines, descendant sur l'un et l'autre côtés de la vallée, remplirent son lit, et les eaux, se frayant un pas-

sage sur leur masse, coulèrent épaisses et bourbeuses. La rivière de Tangarau fut aussi enfermée par neuf collines qui se rapprochèrent, et l'on trouva dans son lit une grande quantité d'arbres flottants.

1725 et 1726. Entre ces deux années, et pendant une éruption de l'Oërofe-Lœkull, une grande étendue de terres élevées s'affaissa, et forma un lac, et à un quart de lieue de là une colline s'éleva du milieu d'un autre lac et le convertit en un terrain aride.

1746. Le 29 octobre, la ville de Lima, l'une des plus considérables de l'Amérique Espagnole, fut entièrement détruite. Après une longue série de secousses, l'Océan se retira deux fois, et revint avec impétuosité sur le rivage. Une partie de la côte de Callao fut convertie en une baie; quatre autres ports, au nombre desquels on compte Cavalla et Guanape, partagèrent le même sort que Lima. De 25 navires de toutes dimensions, qui se trouvaient dans le port de Callao, 19 furent coulés à fond, et les quatre autres, parmi lesquels se trouvait une frégate appelée le *Saint-Firmin*, furent entraînés à une grande distance par la force de la vague. Le nombre des habitants de Lima s'élevait à 4,000; 200 seulement échappèrent au désastre. Parmi ces derniers, 22 se sauvèrent sur un petit fragment du fort de Vera-Cruz, qui, après cette inondation, resta comme unique témoin attestant la place qu'occupait Callao. Lima est tellement sujette à ces terribles catastrophes, qu'elle en a été presque entièrement renversée quatorze fois dans moins de deux siècles; savoir : en 1582, 1586, 1609, 1633, 1678, 1687, 1697, 1699, 1716, 1725, 1752, 1754, 1745 et 1746.

1750. Les 25 et 26 mai, toute la partie de la France qui avoisine les Pyrénées fut violemment agitée; aux environs de Tarbes, il se forma un lac par l'affaissement du sol qui avait été miné par des courants d'eau souterrains.

La même année, et un jour plus tôt, le 24 mai, l'ancienne ville de la Conception, ou Peuco, dans le Chili, fut détruite par de violentes secousses; l'emplacement qu'elle occupait fut entièrement couvert par les eaux de la mer, et les habitants allèrent construire une autre ville à 10 milles de la côte, afin de

ne plus être atteints par de telles inondations.

1731. Le 13 septembre, les Antilles furent ébranlées, et le 21 novembre, la ville de Port-au-Prince, capitale de l'île d'Haïti, fut renversée de fond en comble.

1755. Le premier novembre, à 9 heures 45 minutes du matin, commença le désastre de Lisbonne. On entendit sous terre un bruit semblable à celui du tonnerre, et immédiatement après, une secousse des plus fortes renversa la plus grande partie de la ville. Six minutes après, 60,000 personnes avaient péri sous les ruines des églises et des édifices. La mer, qui d'abord s'était retirée, s'éleva bientôt à plus de 50 pieds au-dessus de son niveau ordinaire. Les montagnes d'Arrabida, d'Estrella, de Marao et de Cintra, qui appartiennent aux plus grandes chaînes du Portugal, furent violemment ébranlées; la plupart d'entre elles s'ouvrirent à leur sommet, et se fendirent jusqu'à leur base; d'énormes blocs de rochers roulèrent dans les vallées voisines. Quelques personnes disent même avoir aperçu des flammes et de la fumée s'échapper de ces fractures récentes. Un quai, nouvellement et solidement bâti en marbre, s'affaissa tout à coup; un grand nombre de bateaux et de petits navires attachés à l'ancre près de là, et tous remplis de monde, furent ensevelis dans un gouffre qui se forma subitement, et qui parut avoir une centaine de brasses de profondeur.

L'action de ce tremblement de terre s'étendit très-loin. A Cadix, on vit venir du large, à huit milles de distance, une montagne d'eau de 60 pieds de hauteur; elle se jeta impétueusement sur les côtes, et ruina un grand nombre d'édifices; semblable à la lame de 84 pieds de haut qui, le 9 juin 1586, lors du grand tremblement de terre de Lima, avait couvert le port de Callao.

Le port de Setubal, à 20 lieues de Lisbonne, fut englouti. A Kinsale, en Irlande, l'eau envahit le port et plusieurs vaisseaux pirouettèrent et allèrent tomber dans la place du Marché. Tous les lacs de la Suisse furent violemment agités; il en fut de même de ceux de l'Ecosse. Les eaux du lac de Ness se soulevèrent tout à coup, et débordèrent avec une impétuosité extraordinaire; elles continuèrent à osciller avec beaucoup de force pendant plusieurs heures de suite.

Celles du lac Lomond s'abaissèrent d'abord et s'épanchèrent ensuite hors des bords : leur plus grande élévation fut de 2 pieds 4 pouces. Les eaux de la mer, sur les côtes de la Suède et de la Norwège, furent aussi très-sensiblement soulevées, et non-seulement toute l'Europe se ressentit de cette mémorable catastrophe, mais le même jour elle se fit sentir en Amérique et en Afrique. On ressentit les secousses en Amérique, à la Martinique, à Antigua et à la Barbade, éloignées de 1,200 lieues des côtes du Portugal. Les marées, qui ne dépassent jamais 24 à 28 pouces dans cette dernière localité, s'élevèrent à 20 pieds dans la baie de Carlisle. L'eau devint en même temps noire comme de l'encre; sans doute qu'elle s'était mêlée avec du pétrole ou de l'asphalte qui abonde dans le fond de la mer, tant sur les côtes du golfe de Curiaco, que près de l'île de la Trinité.

A Alger et à Fes, en Afrique, le choc fut assez fort pour écraser plus de 10,000 personnes sous les débris des édifices.

Toute la France, la Hollande, l'Italie, etc., se ressentirent de ce violent tremblement de terre. Plusieurs sources furent taries, et celle de Nérès s'éleva tout d'un coup de 4 pieds. Un autre tremblement de terre eut lieu à Lisbonne, le 31 mars 1761.

1760. Pendant que le volcan de Péteroa, au Chili, était en éruption et formait un nouveau cratère, un tremblement de terre produisit une fissure de plusieurs milles de longueur dans une montagne voisine, et souleva une grande langue de terre, qui, pendant dix jours, arrêtant le cours de la rivière de Lontue, donna naissance à un lac considérable.

1766. Le 21 octobre, presque toute la Colombie fut agitée. On ressentit des secousses à Cumaná, à Caracas, à Naracaibo, et sur les bords des rivières de Casanare, du Méta, de l'Orénoque et du Ventuari. Dans ces diverses localités, la terre se fendit et des fragments de montagne s'écroulèrent; la Trinité fut vivement ébranlée. Une petite île dans l'Orénoque s'affaissa et disparut sous les eaux; en même temps le fond de la mer se souleva près de Coriato, et la pointe del Gardo prit de l'accroissement. Des roches s'élevèrent dans la rivière de Guarapica, près le village de Maturá. Les secousses continuèrent ainsi d'un

en heure, pendant quatorze mois, sur le territoire de la Colombie.

1771. Pendant le tremblement de terre de cette année, de grandes étendues de terrains furent soulevées à Java, et une montagne s'éleva vis-à-vis l'embouchure de la rivière de Batavia.

1783-1786. Ce fut pendant ces années qu'eurent lieu les tremblements de terre de la Calabre, qui, à cette époque, furent soigneusement étudiés, et sur lesquels ont été publiés divers mémoires que M. Lyell a savamment résumés dans ses *Principles of Geology*. C'est son résumé que nous allons en partie reproduire.

« Les altérations que produisit cette grande catastrophe, dans le niveau relatif des collines et des vallées de la terre et de la mer, ne furent pas aussi considérables que celles qui, de notre temps, ont été causées en Amérique par des mouvements souterrains. L'importance des tremblements de terre qui vont nous occuper, vient de ce que la Calabre est aujourd'hui la seule localité qui ait été étudiée pendant et après la commotion qu'elle a éprouvée.

» Les secousses commencèrent en février 1783, et durèrent près de quatre ans, jusqu'en 1786. Pignatari, qui tint un compte exact des secousses, assure qu'il y en a eu dans la seule année 1783, 919, dont 301 étaient du premier degré de force, et dans l'année suivante, 131, dont 98 de première force.

» Un fait singulier, c'est que la Calabre ne présente aucune roche d'origine ignée ancienne ou moderne; en sorte que dans les temps à venir, la cause de ces révolutions sera tout à fait cachée. Les convulsions de la terre, de la mer et de l'air s'étendirent sur toute la Calabre ultérieure, la partie sud-est de la Calabre citérieure et à travers de la mer, à Messine et aux environs, territoire situé entre les 38 et 39 degrés de latitude. Le choc fut ressenti sur une grande partie de la Sicile, et vers le nord jusqu'à Naples; mais la surface sur laquelle les secousses agirent avec assez de force pour exciter une grande alarme, n'excéda guère 500 milles carrés d'étendue.

» Vivenzio nous apprend que le 20 et le 26 mars 1783, il y eut des tremblements de

terre dans les îles de Zante, Céphalonie et Sainte-Maure. Dans cette dernière, plusieurs édifices publics et particuliers furent renversés, et beaucoup de gens périrent.

» Si l'on prend comme centre la ville d'Oppido, en Calabre, et que l'on décrive autour un cercle dont le rayon ait 22 milles, cet espace comprendra la surface du pays qui subit les plus grandes altérations, et sur laquelle toutes les villes et les villages furent détruits, mais si l'on décrit un centre de 72 milles de rayon, on comprendra alors tout le pays sur lequel subsistaient des marques permanentes de tremblement de terre. La première secousse, le 3 février 1783, renversa, en deux minutes, la plus grande partie des maisons de toutes les cités, villes et villages, depuis le versant occidental des Apennins, dans la Calabre ultérieure, jusqu'à Messine, en Sicile, et bouleversa toute la surface du pays. Une autre secousse eut lieu le 28 mars, avec presque autant de violence. La chaîne granitique, qui traverse la Calabre du nord au sud et atteint quelquefois une hauteur de plusieurs milliers de pieds, ne fut que légèrement ébranlée, mais on dit qu'une grande partie des secousses, qui se propageaient avec un mouvement semblable à la houle de la mer, à travers les couches récentes, de l'ouest à l'est, devenaient très-violentes lorsqu'elles atteignaient le point de jonction avec le granite, comme s'il se produisait une réaction à l'endroit où le mouvement ondulatoire des couches molles était soudainement arrêté par des roches plus solides. La surface du pays se soulevait souvent comme des vagues qui se gonflent, ce qui produisait un étourdissement comme le mal de mer. On a particulièrement dit dans toutes les relations, qu'immédiatement avant chaque secousse, les nuages paraissaient être sans mouvement, et, quoique l'on ne donne aucune explication de ce phénomène, il est évidemment le même que celui qu'on observe en mer à bord d'un navire qui tangue violemment. Les nuages semblent arrêtés dans leur course, aussi souvent que le vaisseau s'élève dans une direction contraire; de sorte que les habitants de la Calabre doivent avoir éprouvé sur terre le même mouvement qu'on sur la mer.

» Nous examinerons d'abord les changements physiques, produits par la commotion, qui se lient avec les niveaux relatifs dans les différentes parties du pays, et ensuite nous décrirons ceux qui ont plus particulièrement rapport à l'assèchement régulier du pays, et où la force des eaux courantes s'est jointe à celle du tremblement de terre.

» C'est évidemment dans les ports seuls que l'on doit chercher les indications exactes des légers changements de niveau, et quand on en trouve, on doit présumer qu'ils ne seraient pas rares sur d'autres points, si l'on avait d'égales facilités de comparer les limites relatives. Grimaldi annonce, et Hamilton le confirme, qu'à Messine, en Sicile, le rivage fut déchiré, et que le sol le long du port, qui était auparavant de niveau, se trouva ensuite incliné vers la mer, que celle-ci elle-même devint plus profonde, près de la Banchina, où son fond fut dérangé. Le quai descendit aussi de 14 pouces au-dessous de la mer, et les maisons, dans son voisinage, furent sillonnées de crevasses. Parmi les nombreuses preuves d'élévation et de dépression, les académiciens de Naples, qui avaient été envoyés sur les lieux, mentionnèrent, dans leur revue, que le sol était quelquefois au même niveau des deux côtés des nouveaux ravins et des nouvelles crevasses, mais quelquefois il y avait un dérangement considérable, soit par le soulèvement d'un côté, soit par l'abaissement de l'autre. Mais sur les côtés de plusieurs longues fentes, dans le territoire de Soriano, les masses stratifiées avaient changé leur position relative de 6 à 10 pieds et demi. On parle de semblables mouvements dans les couches du territoire de Polistina, où il y eut d'innombrables fissures. Une d'elles était très-large et très-profonde, et dans différentes parties, le niveau des côtés correspondants était considérablement changé. Dans la ville de Terra-Nuova, quelques maisons furent élevées au-dessus du niveau ordinaire, et d'autres à côté s'enfoncèrent dans le sol.

» Dans plusieurs rues, le sol paraissait poussé en haut, et s'appuyait contre les murailles des maisons; une grande tour ronde, en maçonnerie solide, qui avait résisté à la destruction générale, fut partagée par une fente verticale. Un des côtés fut élevé et les

fondations soulevées en dehors du terrain. Elle fut comparée par les académiciens à une grosse dent à moitié extraite de son alvéole, avec la partie supérieure des racines mise à nu. Le long de la ligne de cette séparation, on trouva que les murs adhéraient l'un à l'autre, et s'ajustaient si bien que les seuls signes de désunion étaient le manque de correspondance dans les assises de pierre de chaque côté de la fente. Dans quelques maisons qui avaient été renversées ou violemment secouées à Montéléone, quelques-unes des pierres s'étaient séparées d'avec le mortier de manière à laisser un moule exact, tandis que dans d'autres cas le mortier fut broyé en poussière entre les pierres. Il paraît que les mouvements ondulatoires, et ceux que l'on appela *tournoyants*, produisirent les plus capricieux effets; aussi, dans quelques rues de Montéléone, toutes les maisons furent renversées excepté une; dans d'autres, excepté deux; et les bâtiments qui furent épargnés étaient à peine endommagés.

» Dans un grand nombre de cités de la Calabre, les édifices les plus solides furent renversés, tandis que ceux qui étaient légèrement bâtis, échappèrent à la ruine; mais à Rosarno et à Messine, en Sicile, ce fut précisément le contraire. Les édifices massifs furent les seuls qui résistèrent.

» On observa que deux obélisques, placés aux extrémités d'une magnifique façade du couvent de Saint-Bruno, dans une petite ville nommée *Stefano del Bosco*, avaient éprouvé un mouvement d'une singulière espèce. On décrit le choc qui agita le bâtiment comme ayant été à la fois horizontal et tournoyant. Le piédestal de chaque obélisque resta à sa place primitive, mais les pierres séparées qui étaient dessus tournèrent sur elles-mêmes, et s'écartèrent de près de 9 pouces de leur place, sans tomber.

» Il paraît évident que le déchirement de la terre fut l'effet d'un violent mouvement de bas en haut, et dans une multitude de cas où les déchirements et les crevasses s'ouvrirent et se fermèrent alternativement, nous devons supposer que la terre était tout à coup soulevée et abandonnée à elle-même. On peut concevoir que le même effet serait produit en petit, si par quelque force mécanique, un

pavé composé de larges dalles était soulevé et abandonné ensuite brusquement, de manière à reprendre sa position première. Si quelques petites pierres se trouvaient placées sur la ligne de jonction des deux dalles, elles tomberaient dans l'ouverture, quand le pavé s'élèverait, et seraient englouties, de sorte qu'on n'en verrait aucune trace lorsque le pavé serait abaissé de nouveau. De la même manière, lorsque la terre était soulevée, de grandes maisons, des arbres, des hommes et des animaux étaient engouffrés à l'instant dans les fentes et les crevasses, et lorsque le terrain redescendait, la terre se refermait sur eux, et l'on ne pouvait plus rien découvrir à la surface. Dans quelques cas, les individus furent engloutis par une secousse, et rejetés vivants avec des colonnes d'eau, par une autre qui suivit immédiatement la première.

» A Jérocarne, pays qui, d'après les académiciens, fut lacéré de la manière la plus extraordinaire, les crevasses s'étendaient dans toutes les directions, comme les cassures d'une vitre; et comme une grande partie en est restée après la secousse, il est probable que le terrain n'a pu reprendre sa première position.

» Dans le voisinage d'Oppido, point central d'où le tremblement de terre étendit ses violents mouvements, plusieurs maisons s'enfoncèrent dans la terre qui se referma immédiatement sur elles. Dans le canton adjacent de Canna Maria, quatre femmes, quelques magasins d'huile, et plusieurs habitations spacieuses, furent si complètement engouffrées dans une crevasse, qu'on n'en pouvait apercevoir aucun vestige. Le même phénomène eut lieu à Terra Nuova, Sancta Christina et Sinopoli. Les académiciens disent entre autres que lorsque de profonds abîmes se furent ouverts dans les couches argileuses de Terra Nuova, et que des maisons y eurent été englouties, les côtés des crevasses se refermèrent avec tant de violence, qu'en creusant, pour retrouver des objets de valeur, les ouvriers observèrent que le contour des maisons et quelques parties détachées étaient mêlés ensemble en une masse compacte. Il est inutile d'accumuler les exemples de semblables événements; mais il y en a tant de bien reconnus pendant ce tremblement de terre de la Calabre, que l'on

peut ajouter foi aux narrations de catastrophes semblables, répétées souvent dans l'histoire, où l'on dit que des villes entières ont été englouties et n'ont laissé à leur place qu'un étang ou un espace nu.

» Sur le penchant d'Oppido, il s'ouvrit une longue et large crevasse, et bien qu'une grande portion du sol y fut précipitée ainsi qu'un grand nombre d'oliviers et une partie des terres plantées de vigne, il resta après la secousse un gouffre en forme d'amphithéâtre, de 500 pieds de long sur 200 de profondeur.

» D'après Grimaldi, plusieurs fentes et crevasses occasionnées par le premier choc du 5 février, furent considérablement élargies, allongées et approfondies, par les convulsions violentes du 28 mars. Le même observateur trouva dans le territoire de San-Fiti une nouvelle ravine d'un demi-mille de long; de deux pieds et demi de large, et de vingt-cinq pieds de profondeur. Il en vit une autre de pareille dimension dans le territoire de Rosarno. Un ravin de près d'un mille de long, de 105 pieds de large et de 50 de profondeur, s'ouvrit dans le district de Plaisance, où furent aussi formés deux gouffres, l'un dans un lieu appelé Cerzulle, de trois quarts de mille de long, de 150 pieds de large, et de plus de 100 pieds de profondeur; et l'autre à la Fortuna, de près d'un quart de mille de long, de plus de 50 pieds de large, et d'environ 225 pieds de profondeur.

» Dans le district de Fosolano, trois gouffres furent ouverts: l'un de 500 pieds carrés, sur plus de 50 de profondeur; l'autre de près d'un demi-mille de long, de 15 pieds de large, et d'environ 50 de profondeur; le troisième était de 750 pieds carrés. Enfin, une montagne calcaire, appelée Zéfirio, à l'extrémité méridionale de la péninsule italique, fut fendue en deux sur une longueur de près d'un demi-mille, et sur une largeur irrégulière. Plusieurs de ces crevasses étaient en forme de croissant. (Fig. XXII et XXIII.)

» Dans le voisinage de Serosinara, il se forma soudainement un lac par suite de l'ouverture d'une grande crevasse, du fond de laquelle l'eau s'élança brusquement. Ce lac fut appelé le lac del Tollito. Son étendue était de 2,580 palmes de long, sur 1,250 de largeur.

et 70 de profondeur. Les habitants craignant les effluves de cette masse stagnante, essayèrent à grand frais de la dessécher par des canaux, mais ils ne purent y parvenir, parce qu'elle était entretenue par des sources sortant du fond de la crevasse. Il y eut aussi près de Polistina un petit enfouissement circulaire.

» On montra dans le voisinage de Mileto, à sir William Hamilton, plusieurs fissures profondes qui, bien qu'aucune d'elles n'eût plus d'un pied de large, s'étaient assez ouvertes pendant le tremblement de terre, pour engloûtir un bœuf et cent chèvres.

» Les académiciens trouvèrent aussi en traversant à leur retour les districts par lesquels ils avaient commencé leur tournée, que beaucoup de fentes s'étaient graduellement refermées, de sorte qu'elles avaient diminué de plusieurs pieds et que les bords se touchaient presque.

» Grimaldi assure que les eaux thermales de Saint Euphemia, dans la Terra-di-Amato, qui sourdissent pour la première fois pendant le tremblement de 1638, acquirent, en février 1783, de l'augmentation en quantité et en température. La violence du mouvement de bas en haut fut aussi démontrée par les sauts ou bonds des pavés et de toutes les masses qui n'étaient pas très-adhérentes.

» Les effets dont nous devons maintenant nous occuper sont ceux qui semblent plus intimement liés avec la formation des vallées, dans lesquelles l'action de l'eau a souvent été combinée avec celle des tremblements de terre. Le pays agité était principalement composé de conches argileuses, entrecoupées de vallées étroites et profondes quelquefois de 3 à 600 pieds. Comme les bords en étaient presque perpendiculaires, on concevra aisément qu'au milieu des divers mouvements de la terre, les précipices suspendus au-dessus des rivières furent souvent renversés. Aussi trouvons-nous que les inondations produites par des éboulements, dans le cours des rivières, sont comptées parmi les conséquences les plus désastreuses des grands tremblements de terre dans toutes les parties du monde. De chaque côté de la vallée profonde ou du ravin de Terra Nuova, des masses énormes furent détachées du pays plat adjacent, et jetées dans

le lit de la rivière, de manière à donner naissance à de grands lacs. On voyait souvent des chênes, des oliviers, des vignes et du blé croissant au fond du ravin, et aussi peu endommagés que les mêmes végétaux dont ils avaient été séparés dans la plaine au moins à 300 pieds plus haut et à la distance d'environ trois quarts de mille. Dans une partie de ce ravin était une énorme masse de 200 pieds de hauteur, sur 400 pieds de diamètre à sa base, et qui avait été détachée par un tremblement de terre antérieur. Il est bien attesté que cette masse descendit le ravin pendant un espace de 4 milles, après avoir été mise en mouvement par le tremblement de terre du 3 février. Hamilton, qui examina la localité, déclara que l'on pouvait se rendre compte de ce phénomène par la déclivité de la vallée, la grande abondance de pluie qui tomba et le grand poids des matières alluviales qui passaient par derrière.

» Non loin de la ville de Soriano, qui fut renversée par le grand choc du 3 février, une petite vallée contenant un beau bois d'oliviers, appelée Fra-Ramondo, subit une révolution très-extraordinaire : des fissures innombrables traversèrent la plaine de la rivière dans toutes les directions, et absorbèrent l'eau, de manière que la couche argileuse inférieure en fut détrempée, et une grande partie en fut réduite à l'état de pâte liquide. Il s'ensuivit d'étranges altérations dans la figure du sol qui, jusqu'à une grande profondeur, se contourna de toutes sortes de manières. Ajoutons que les débris des collines voisines furent précipités dans les excavations qui se formèrent, et tandis que beaucoup d'oliviers étaient déracinés, d'autres continuèrent à végéter sur les masses tombées et inclinées sur divers angles. La petite rivière du Caridi disparut entièrement pendant quelques jours ; et lorsque enfin on la revit, elle s'était creusé un lit entièrement nouveau.

» Près de Seminara, un vaste plant d'oliviers et un verger furent lancés à la distance de 200 pieds dans une vallée de 60 pieds de profondeur. En même temps une crevasse profonde s'ouvrit dans une autre partie du plateau élevé d'où le terrain avait été détaché, la rivière y entra aussitôt et laissa son

ancien lit à sec. Une petite maison habitée située sur la masse de terre qui avait été jetée dans la vallée, s'en fut avec elle tout entière et sans dommage pour les habitants ; les oliviers continuèrent aussi à croître sur cette terre, et donnèrent la même année une récolte abondante. Deux espaces de terrains sur lesquels était située une grande partie de la ville de Polistina, consistant en quelques centaines de maisons, furent détachés et jetés dans un ravin contigu à environ un demi-mille de leur première place, et ce qu'il y a de plus extraordinaire, on en retira plusieurs des habitants vivants et sans blessures.

» Vivenzio dit que, près de Sitizzano, une vallée fut presque comblée et mise de niveau avec les terrains élevés de chaque côté, par les masses énormes détachées des collines voisines et jetées dans le cours de deux ruisseaux. Cette barrière forma un lac de deux milles de long sur un mille de large, et d'une grande profondeur ; le même auteur dit qu'en tout il y eut 50 lacs de formés pendant les secousses, et il indiqua les places. Les inspecteurs du gouvernement en comptèrent 213, mais ils y comprirent un grand nombre de petits étangs.

» Près de Santo-Lucido, entre autres lieux, le sol est décrit comme ayant été pour ainsi dire dissous ; de sorte que de grands torrents de boue inondèrent tous les terrains bas. On voyait seulement sortir de la vase les cimes des arbres et les ruines des fermes.

» À deux milles de Lauréana, le sol humide de deux ravins se remplit de matière calcaire qui sortit du terrain immédiatement avant la première grande secousse. Cette boue s'accumulant rapidement, commença bientôt à rouler comme des flots de lave dans la vallée, où les deux ruisseaux se réunirent, et s'avancèrent avec une grande vitesse de l'est à l'ouest. Ils présentaient alors une largeur de 500 palmes, sur 10 de profondeur, et lorsqu'ils cessèrent d'avancer, ils couvraient une surface d'un mille italien de longueur. Dans sa route, ce torrent engloutit un troupeau de chèvres et déracina des oliviers et des muriers, qui flottèrent ensuite comme des navires sur la surface. Lorsque cette lave calcaire eut cessé de se mouvoir, elle devint graduellement sèche et dure, et pendant ce changement elle baissa de 10 palmes, elle contenait

des fragments d'une terre ferrugineuse, et qui exhalait une odeur sulfureuse.

» Plusieurs des effets observés dans les plaines d'alluvion indiquent clairement l'élévation et l'abaissement alternatifs du terrain. Le premier résultat des secousses violentes était ordinairement l'assèchement des rivières ; mais immédiatement après elles débordaient. Le long des plaines d'alluvion, et dans les lieux marécageux, il s'éleva un nombre immense de cônes de sable. Hamilton explique ces effets en supposant que le premier mouvement élevait les plaines crevassées de bas en haut ; de sorte que les rivières et l'eau stagnante des marais descendait, ou du moins n'était pas élevée avec le sol ; mais lorsque le terrain retournait avec violence à sa première position, l'eau était lancée en jets à travers les fissures.

» Dans les rapports de l'Académie, on trouve que quelques plaines furent couvertes de creux circulaires, la plupart de la grandeur d'une roue de voiture, mais souvent plus grands ou plus petits. Lorsqu'ils étaient pleins d'eau jusqu'à un pied ou deux de la surface, ils ressemblaient à des puits, mais en général ils étaient remplis de sable sec, quelquefois avec une surface concave et d'autre fois convexe. En les fouillant, on les trouva faits en entonnoirs, et le sable humide et remué dans le centre indiquait le tube par lequel l'eau jaillissait. La figure XXIV représente la coupe d'une de ces cavités, lorsque l'eau eut disparu et qu'il n'y resta rien que du sable micacé sec.

» Le long du bord de la mer, dans le détroit de Messine, près du rocher célèbre de Scilla, la chute de gros quartiers de rochers endommagea beaucoup de maisons de campagne et de jardins. A Giangreco, une ligne continue de falaises d'un mille de long fut renversée. On observa fréquemment une grande agitation dans le lit de la mer pendant les secousses et sur les parties de la côte où le mouvement était le plus violent ; on prenait des poissons de toute espèce en plus grande abondance, et avec plus de facilité qu'en tout autre temps. Quelques espèces rares, comme celle que l'on nomme *cicirelli*, qui se tient ordinairement enterrée dans le sable, furent vues à la surface en quantité remarquable.

Ou dit que la mer bouillonnait auprès de Messine et qu'elle était agitée comme si beaucoup de vapeurs se dégageaient du fond.

» Le prince de Scilla avait persuadé à une grande partie de ses vaisseaux de se retirer dans leurs bateaux de pêche pour y être en sûreté, et lui-même était allé à bord. Dans la nuit du 5 février, tandis que quelques-uns d'entre eux dormaient dans les bateaux et les autres sur une plaine unie, légèrement élevée au-dessus de la mer, la terre trembla, et tout à coup une masse énorme fut arrachée de la montagne voisine de Jaci, et lancée avec un craquement terrible sur la plaine. Aussitôt après la mer s'éleva de trente palmes au-dessus de la plaine basse, y roula en écumant et balaya ceux qui s'y trouvaient. Elle se retira alors, mais revint avec une plus grande violence, rapportant avec elle quelques-uns des individus et des animaux qu'elle avait entraînés. Dans le même temps tous les bateaux furent coulés ou brisés contre la côte et quelques-uns d'entre eux furent poussés assez loin dans l'intérieur. Le vieux prince et 1,430 des siens périrent.

» Le nombre des personnes qui furent victimes du tremblement de terre dans les deux Calabres et la Sicile, est estimé par Hamilton à 40,000, et en outre 20,000 périrent de misère ou de maladie. Le plus grand nombre fut enterré sous les maisons, tandis que quelques-uns furent consumés dans les incendies qui suivirent presque invariablement les secousses, brûlèrent d'immenses magasins d'huile et d'autres provisions. Un petit nombre fut engouffré dans les crevasses et les fissures, et leurs squelettes sont peut-être ensevelis dans la terre jusqu'à présent à la profondeur de plusieurs centaines de pieds; car telle était la profondeur de quelques-unes des ouvertures qui ne se refermèrent pas.

» Les habitants de Pizzo remarquèrent que, le 5 février 1783, lorsque la grande secousse bouleversa la Calabre, le volcan de Stromboli, qui est en pleine vue de cette ville, à environ 30 milles de distance, fuma moins et lança moins de matières enflammées qu'il n'avait fait pendant les années précédentes. D'un autre côté, on dit que le grand cratère de l'Etnea et Stromboli laissèrent échapper beaucoup de vapeurs, le premier au commence-

ment et le second vers la fin des commotions; mais comme aucune éruption de ces deux grandes issues n'eut lieu pendant tout le tremblement de terre, les causes des convulsions de la Calabre et les feux volcaniques de Stromboli paraissent très-indépendants les uns des autres, à moins toutefois qu'ils n'aient la même relation mutuelle que le Vésuve et les volcans des Champs Phlégréens et Ischia, où un trouble violent dans un canton, sert de soupape de sûreté à l'autre, et qui ne sont jamais en pleine activité à la fois.

1786. Un tremblement de terre se fit sentir par intervalles, pendant quatre mois, dans le voisinage de Batour à Java, et une éruption le suivit. Il se forma des crevasses qui laissèrent échapper des vapeurs sulfureuses; des terrains séparés s'enfoncèrent et furent engloutis. Le ruisseau appelé *Datog* se précipita dans l'un d'eux et continua de couler sous terre. Le village de Jampang fut enterré dans le sol avec trente-huit de ses habitants, qui n'eurent pas le temps de se sauver.

1790. Le 18 mars de cette année, à Santa Maria di Niscimi, à quelques milles de Terranuova, sur la côte méridionale de Sicile, le terrain s'abaissa graduellement sur une circonférence de trois milles italiens, à la suite de sept commotions, et dans une localité, jusqu'à la profondeur de 30 pieds. Il continua de s'abaisser pendant le reste du même mois. Plusieurs fissures vomirent du soufre, du pétrole, de la vapeur d'eau, de l'eau chaude et un torrent de boue, qui coula pendant deux heures, et couvrit un espace de 60 pieds de long sur 30 de large. Ceci arriva loin des cantons volcaniques, dans un groupe de couches consistant principalement en argile bleue.

La même année, dans la province de Caracas, un tremblement de terre occasionna, le jour de la Saint-Mathieu, un enfoncement dans le sol granitique et laissa un lac de 220 pieds de diamètre sur 200 à 250 de profondeur. Ce fut une partie de la forêt d'Atipao qui s'enfonça, et les arbres restèrent verts au fond de l'eau pendant plusieurs mois.

1799. Le 4 février, tout le territoire de Quito fut violemment ébranlé: Un grand nombre de villes furent détruites. Rio-Bamba, Quero et d'autres villages furent enterrés sous des masses détachées des montagnes au pied

du volcan de Tunguragua. La terre s'entr'ouvrit en différents endroits et vomit des torrents d'eau et de vase fétide, désignés sous le nom de *moya*. Dans des vallées de mille pieds de large, ces inondations s'élevaient jusqu'à 600 pieds; le dépôt de vase barra le cours de la rivière et forma des lacs qui se maintinrent en quelques endroits pendant 80 jours. Des flammes et des vapeurs suffocantes s'échappèrent du lac de Quilotoa, et tuèrent tout le bétail qui était sur ses bords. »

1806. Une nouvelle île en forme de pic, avec quelques collines basses et coniques au-dessous, s'éleva dans la mer parmi les îles Aléoutiennes, au nord du Kamtchatka. D'après Langsdorff, elle avait 4 milles géographiques de tour. M. de Buch conclut de sa grandeur et de ce qu'elle ne s'est pas encore abaissée au-dessous du niveau de la mer, qu'elle ne consistait pas seulement en matières vomies, comme le Monte-Nuovo, mais en roches solides soulevées. Une autre éruption extraordinaire eut lieu au printemps de l'année 1814, dans la mer, près de Ounalaschka, dans le même archipel. Elle produisit une île d'une grandeur considérable et ayant un pic de 3,000 pieds de hauteur, qui existait encore un an après, quoiqu'un peu diminué de hauteur.

1811. La Caroline du sud fut violemment agitée. Le géographe Flint, qui visita le pays sept ans après la catastrophe, nous apprend qu'un espace de plusieurs milles en superficie, fut couvert d'eau à 3 ou 4 pieds de hauteur, et lorsque l'eau disparut, une couche de sable resta à sa place. De grands lacs de 20 milles d'étendue se changèrent en un bûvre et d'autres furent desséchés. Le cimetière du nouveau Madrid fut précipité dans le lit du Mississippi. Les habitants rapportèrent que la terre s'élevait en grandes ondulations, et lorsque ces dernières atteignaient une hauteur effrayante, le sol éclatait et de grandes quantités d'eau, de sable et de charbon de terre étaient lancées à la hauteur des plus grands arbres¹.

¹ La plupart des détails que nous venons de donner sur les tremblements de terre sont extraits de l'ouvrage de M. Lyell, *Principles of Geology*, t. I, p. 475 et suiv., et de l'*Encyclopédie méthodique*, art. *Volcans*, par M. Huot.

1812. On trouve dans la relation historique des voyages de M. de Humboldt des détails très-circconsciencés sur ce fatal événement, et que nous rapportons, malgré l'étendue que nous avons déjà donnée à ce chapitre.

« La secousse que l'on ressentit à Caracas, au mois de décembre 1811, fut la seule, dit l'illustre voyageur, qui précéda l'horrible catastrophe du 26 mars 1812.

» On ignorait à la Terre-Ferme les agitations qu'éprouvaient, d'un côté, le volcan de l'île Saint-Vincent, et, de l'autre, le bassin du Mississippi, où, le 7 et le 8 février 1812, la terre était jour et nuit dans une agitation continuelle. A cette époque, la province de Vénézuëla essayait de grandes sécheresses. Pas une goutte de pluie n'était tombée à Caracas et à 90 lieues à la ronde, dans les cinq mois qui précédèrent la ruine de la capitale. Le 26 mars était un jour extrêmement chaud, l'air était calme et le ciel sans nuages; c'était le jeudi saint : une grande partie de la population se trouvait réunie dans les églises; rien ne semblait annoncer les malheurs de cette journée. A 4 heures 7 minutes du soir, la première commotion se fit sentir. Elle fut assez forte pour ébranler les cloches des églises; elle dura 5 à 6 secondes; elle fut immédiatement suivie d'une autre secousse de 10 à 12 secondes, pendant laquelle le sol, dans un mouvement continu d'ondulation, semblait bouillonner comme un liquide. On croyait déjà le danger passé, lorsqu'un énorme bruit souterrain se fit entendre : c'était comme le roulement du tonnerre, mais plus fort, plus prolongé que celui qu'on entend sous les tropiques dans la saison des orages. Ce bruit précédait un mouvement perpendiculaire d'environ 3 à 4 secondes, suivi d'un mouvement d'ondulation un peu plus long. Les secousses étaient dans des directions opposées, du nord au sud et de l'est à l'ouest. Rien ne put résister à ce mouvement de bas en haut et à ces oscillations croisées. La ville de Caracas fut renversée de fond en comble, des milliers d'habitants (entre 9 et 10 mille) furent ensevelis sous les ruines des églises et des maisons.

» La procession n'était point encore sortie; mais le concours dans les temples était si grand, que près de 3 ou 4 mille personnes

furent ébranlées sous les voûtes qui s'éroulaient. L'explosion fut plus forte du côté du nord, dans la partie de la ville la plus rapprochée de la montagne d'Avila et de la Silla. Les églises de la Trinité et d'Alta-Gracia, qui avaient plus de 130 pieds de hauteur, et dont la nef était soutenue par des piliers de 12 à 13 pieds d'épaisseur, laissèrent un amas de ruine qui ne s'élève guère qu'à cinq à six pieds. L'affaissement des décombres a été si considérable, qu'on n'y reconuait aujourd'hui presque aucun vestige des piliers et des colonnes. La caserne appelée *el Quartel de San Carlos*, située plus au nord de l'église de la Trinité, sur le chemin de la donane de la Pastora, disparut presque entièrement. Un régiment de troupes de ligne s'y trouvait réuni sous les armes pour se rendre à la procession; à l'exception de quelques hommes, il fut enseveli sous les décombres de ce grand édifice. Les neuf dixièmes de la belle ville de Caracas furent entièrement ruinés. Les maisons qui ne s'éroulèrent point, comme celles de la rue San-Juan, près de l'hospice des Capucins, se trouvaient tellement crevassées, qu'on ne pouvait risquer de les habiter. Les effets du tremblement de terre furent un peu moins forts dans les parties méridionale et occidentale de la ville, entre la Grande-Place et le ravin de Caraguata : c'est là que la cathédrale, soutenue par d'énormes arcs-boutants, est restée debout.

» En évaluant à neuf ou dix mille le nombre des morts dans la ville de Caracas, on ne tient pas compte des malheureux qui, grièvement blessés, n'ont succombé qu'après plusieurs mois, faute d'aliments et de soins. La nuit du jeudi au vendredi saint offrit le spectacle le plus déchirant de la désolation et du malheur. Cette couche épaisse de poussière qui, élevée au-dessus des décombres, s'élevait précipitée vers le sol; aucune saison ne se faisait sentir; jamais nuit ne fut plus belle et plus calme; la lune, presque pleine, éclairait les dômes arrondis de la Silla, et l'aspect du ciel contrastait avec celui d'une terre jon-

chée de ruines et de cadavres. On voyait des mères porter dans leurs bras des enfants qu'elles espéraient rappeler à la vie. Des familles éplorées parcouraient la ville pour chercher un père, un époux, un ami dont on ignorait le sort, et qu'on croyait égarés dans la foule. On se pressait dans les rues, qu'on ne reconnaissait plus que par l'alignement des monceaux de décombres.

» Tous les malheurs éprouvés dans les grandes catastrophes de Lisbonne, Messine, Lima et Rio-Bamba, se répétèrent dans la funeste journée du 26 mars 1812. Les blessés, ensevelis sous les ruines, imploraient à grands cris les secours des passants; on parvint à en retirer plus de deux mille. Jamais la pitié ne se montra d'une manière plus touchante, on peut dire plus ingénieusement active, que dans les efforts tentés pour secourir les malheureux dont les gémissements se faisaient entendre. On manquait absolument d'outils propres à fouir la terre et à remuer les décombres; il fallait se servir des mains pour déterrer les vivants. On déposait ceux qui étaient blessés, de même que les malades échappés des hôpitaux, au bord de la petite rivière du Guayre; ils n'y trouvaient d'autre abri que le feuillage des arbres. Les lits, le linge pour panser les plaies, les instruments de chirurgie, les médicaments, tous les objets de première nécessité étaient ensevelis sous les décombres. On était dépourvu de tout, même d'aliments, dans les premiers jours; l'eau devint également rare dans l'intérieur de la ville. La commotion avait brisé les canaux des fontaines; l'éboulement des terres avait obstrué les sources qui les alimentaient. Pour avoir de l'eau, il fallait descendre jusqu'au Rio-Guayre, dont la rive était considérable, et l'on manquait de vases pour puiser.

» Il restait à remplir envers les morts un devoir commandé à la fois par la pitié et par la crainte de l'infection. Dans l'impossibilité de donner la sépulture à tant de milliers de cadavres à demi enfouis sous les ruines, des commissaires furent chargés de brûler les corps. On dressa des bûchers entre les monceaux de décombres. Cette cérémonie dura plusieurs jours. Au milieu de tant de malheurs publics, le peuple se livrait aux pratiques religieuses qu'il croyait les plus pro-

* Sur le tremblement de terre de Vénézuëla, en 1812, par M. Delpêche (manuscrit), cité par M. de Humboldt. *Relat. Hist.*, t. V, p. 15.

pres à apaiser la colère du ciel ; les uns se réunissaient en procession, chantaient des cantiques funèbres ; d'autres, l'esprit égaré, se confessaient à haute voix au milieu des rues. Il arriva alors dans cette ville, ce que l'on a observé dans la province de Quito, après l'affreux tremblement de terre du 4 février 1797 : beaucoup de mariages furent contractés entre des personnes qui, depuis de longues années, n'avaient point fait sanctionner leur union par la bénédiction sacerdotale. Des enfants retrouvaient des parents qui les avaient désavoués jusque-là ; des restitutions furent promises par des personnes qu'on n'avait jamais accusées de larcins ; des familles longtemps ennemies se rapprochèrent par le sentiment d'un malheur commun.

» Après ce tremblement de terre, il y en eut un autre le 5 avril, et presque aussi violent que celui qui avait détruit la capitale. Le sol resta pendant plusieurs heures dans un mouvement ondulatoire continuel. Il y eut de grands éboulements dans les montagnes ; d'énormes masses de rocher se détachèrent de la Silla de Caracas ¹.

1819. Un violent tremblement de terre eut lieu dans l'Indostan, dans la province de Kutch, États de Guykavar, le 16 juin. Les secousses qui détruisirent plusieurs villes continuèrent jusqu'au 20, époque où, à 30 milles de Boudj, un volcan fit une éruption et les convulsions cessèrent. Après ces secousses, le Chenal oriental et presque abandonné de l'Indus, qui borde la province de Kutch, fut considérablement changé : cette embouchure on bras de mer était, avant le tremblement de terre, guéable à Lokpot ; elle n'avait qu'environ un pied d'eau basse, elle en a acquis plus de six ; elle fut creusée au fort de Lokpot, après la secousse, de plus de 18 pieds au-dessous de la marée basse. Par ces changements et par plusieurs autres, la navigation intérieure du pays, qui avait été fermée pendant des siècles, devint de nouveau praticable.

1820. Le 13 février, une des îles Ioniennes éprouva une série de tremblements de terre destructifs. Immédiatement après, on

aperçut auprès de la côte, une île rocheuse qui y était inconnue auparavant.

1822. Le capitaine d'un bâtiment français a rapporté que, le 2 août, deux rochers s'élevaient élevées de la mer, dans le voisinage de Chypre, de bien connue pour être sujette aux mouvements souterrains, et presque sous la même latitude qu'Alep.

La même année, le 19 novembre, un violent tremblement de terre ébranla le Chili et souleva une partie de la côte.

« Sur quelques points le terrain paraît avoir éprouvé, pendant la secousse, un mouvement de rotation : des murs et des maisons, après l'événement, étaient tournés en rond.

» A Quintero, à 10 milles au nord de Concon (situé à l'embouchure de Rio-Quillota), sont plusieurs gros palmiers ; trois d'entre eux, à la suite du tremblement, s'étaient enroulés les uns sur les autres comme des baguettes de saule.

» Ce qui prouve encore le mouvement de rotation, c'est que chacun de ces arbres avait balayé un petit espace autour de sa tige. Le terrain avait été soulevé de deux à quatre pieds le long de la côte, et de six à sept à un mille de distance ; dans l'intérieur, il n'a pas encore repris son ancien niveau.

» Sur une côte où la marée ne monte jamais que de quatre ou cinq pieds, tout soulèvement du sol est facile à constater. On voit d'ailleurs à Valparaíso, près de l'embouchure du Concon et le long du rivage de la mer, au nord de Quintero, des rochers qui ne s'apercevaient en aucune manière avant le tremblement de terre ; un vaisseau qui s'était brisé sur la côte, et qu'on pouvait approcher en bateau dans les basses eaux, est maintenant accessible à pied sec. Dans le sol alluvial de la rivière Quillota, on voyait plusieurs bancs de sable récents ; chacun avait un creux au centre, comme le cratère d'un volcan ; on observa le même phénomène en plusieurs endroits. Dans quelques localités, de grandes quantités d'une vase légère avaient été soulevées et dispersées fort loin.

» A Valdivia, par 39° 39' de latitude sud, on n'éprouva qu'une secousse un peu forte ; mais au moment où elle eut lieu, deux volcans du voisinage firent tout à coup éruption

¹ HUMBOLDT, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. V, p. 20.

avec un grand bruit, éclairèrent toute la contrée environnante pendant quelques secondes, et rentrèrent ensuite dans leur ancien état de tranquillité.

» Le 27 novembre, huit jours après la forte secousse, il y eut, dans une grande étendue du Chili, des pluies abondantes, accompagnées de violents tourbillons. Jamais, dans ce pays, il n'était tombé auparavant de la pluie en novembre. Le tremblement de terre avait dû conséquemment apporter dans l'atmosphère de la contrée des modifications notables *.

1828. Le 30 mars, le vaisseau de S. M. britannique *le Fologe* était à l'ancre dans la baie de Callao, et fixé par deux fortes chaînes de fer. A sept heures et demie, un léger nuage passa sur le bâtiment, et aussitôt on entendit le bruit qui, dans ce pays, accompagne les tremblements de terre, et qui ressemble à un tonnerre éloigné. Une secousse violente se fit sentir, et les personnes qui étaient à bord comparèrent ce mouvement à celui qu'on éprouve dans un chariot non suspendu, traîné rapidement sur un pavé inégal. Tout autour, l'eau siffla comme si l'on y eût plongé un fer rouge, et sa surface se couvrit d'une immense quantité de bulles qui, en crevant, laissèrent échapper une odeur d'hydrogène sulfuré : nombre de poissons morts apparurent flottants auprès du vaisseau. La mer, qui auparavant était calme et limpide, parut trouble et agitée, et le bâtiment roula d'environ 14 pouces sur chaque côté. C'est à ce moment que se fit sentir à terre le tremblement qui renversa une partie de la ville *.

1834. S'il faut en croire de prétendues lettres écrites en chinois, et publiées par extrait dans plusieurs journaux, un tremblement de terre désastreux aurait bouleversé d'une manière épouvantable certaines parties de la Chine. Il aurait commencé dans la soirée du 28 juin 1834 et n'aurait cessé que le 9 juillet. Il aurait été ressenti dans la contrée située entre les provinces du Pé-tchi-li au nord, de Chan-si à l'ouest, et du Chan-tong à l'est, et aurait désolé particulièrement le département

de Tebang-li-fou, de la province du Ho-nan. On parle de cent mille maisons détruites et de quatre mille personnes écrasées sous leurs ruines. Dans l'arrondissement de Tse-tebéva, la terre se serait ouverte en beaucoup d'endroits et aurait englouti environ 4,000 personnes. Enfin, dans le pays de Pong-tchin, la terre s'étant entr'ouverte, aurait donné naissance à un grand fleuve (un fleuve d'eau noire, suivant une autre lettre) dont le cours, qui n'a point encore cessé, aurait causé de non moins grands désastres sur son passage *.

Nous terminerons ici cette liste déjà bien longue des principaux effets des tremblements de terre. On a pu voir quelle action puissante les forces intérieures ont encore à la surface de la terre ; car en mettant de côté tout ce qui est relatif à l'espèce humaine, en éliminant ces grandes destructions pendant lesquelles plusieurs milliers de personnes succombaient de la manière la plus affreuse, nous retrouvons dans ces secousses contemporaines des tles soulevées, des rivières arrêtées, tarées, et d'autres englouties, des bâteaux formés, des bras de mer approfondis, des niveaux changés, des vallées creusées, des montagnes anéanties, et d'autres soulevées au-dessus du sol. Tels sont les résultats de cette action contemporaine. Nous verrons, en parlant des soulèvements, quelle a pu être autrefois la puissance de cette même force agissant sur un globe moins refroidi et sur une croûte moins pesante et moins épaisse.

Les causes qui produisent actuellement ces violentes secousses ou de simples ondulations semblent être les mêmes que celles qui donnent naissance aux eaux minérales et aux volcans ; ce sont probablement des phénomènes de retrait ou d'inégal refroidissement de la croûte et de l'intérieur de la terre, ou peut-être l'action de l'eau et de l'air sur la masse incandescente et non encore oxidée de notre planète ; mais c'est une action plus forte, plus intense, qui se développe, ou du moins qui n'annonce sa présence qu'à des époques plus ou moins éloignées, et dans lesquelles on observe rarement de la périodicité. Il semble prouvé qu'il existe une relation assez marquée entre ces tremblements de

* *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXVII, p. 380.

* *Idem*, t. XLII, p. 416.

* *Institut*, 4^e année, p. 109.

terre et les éruptions volcaniques, et que d'abondantes émissions gazeuses sont la suite et peut-être la cause première de ces phénomènes.

Un grand nombre d'exemples viennent appuyer cette supposition, et souvent même ces relations n'ont lieu qu'à d'énormes distances. Ainsi M. de Humboldt rapporte que, depuis le mois de novembre 1796, une colonne de fumée sortait du volcan de Pasto, situé à l'ouest de la ville de ce nom.

« Les bouches de ce volcan sont latérales et se trouvent sur la pente occidentale ; mais, pendant trois mois consécutifs, la colonne de fumée s'éleva tellement au-dessus de la crête de la montagne, qu'elle fut constamment visible aux habitants de la ville de Pasto. Tous ont assuré qu'à leur plus grand étonnement, le 4 février 1797, ils virent disparaître tout à coup la fumée, sans qu'aucune commotion se fût sentie. C'était l'instant où, 65 lieues au sud, entre le Chimborazzo, le Tungurahua et l'Altar (Capac-Uren), la ville de Rio-Bamba fut détruite par un tremblement de terre, le plus fâcheux de tous ceux dont la tradition nous ait conservé la mémoire. Comment douter, d'après cette coïncidence de phénomènes, que les vapeurs sorties des petites bouches ou *ventanillas* du volcan de Pasto ne participassent à la pression des fluides élastiques qui ont ébranlé le sol du royaume de Quito, en faisant périr en peu d'instants trente à quarante mille habitants ? »

Lorsque le volcan de Saint-Vincent, qui était calme depuis 1718, se ralluma en 1812, la ruine de la ville de Caracas précéda cette éruption de 54 jours. Les explosions du volcan s'entendaient sur les rives du Rio-Apure, et le sol y fut ébranlé, et cependant ces lieux sont séparés par 210 lieues en ligne droite, distance qui est celle de Paris au Vésuve.

Les tremblements de terre de Cumana semblent liés à ceux des petites Antilles, et l'on soupçonne même qu'ils ont quelques rapports avec ceux de la Cordillère des Andes. Lorsque, le 4 février 1797, le sol de la province de Quito fut violemment agité, les Antilles orientales éprouvèrent aussi plusieurs secousses

qui ne cessèrent qu'après huit mois, lorsque le volcan de la Guadeloupe lança des ponces et vomit des cendres et des vapeurs ¹.

Dans les lieux voisins des bouches volcaniques, comme Naples, Messine, etc., on ne craint les tremblements de terre que si les vapeurs et les flammes cessent de s'échapper par la bouche des volcans, et plusieurs personnes instruites de Quito firent part à M. de Humboldt de la persuasion où elles étaient que si le dôme trachytique de Chimborazzo venait à être brisé par les feux souterrains et se transformait en un volcan actif, les secousses deviendraient bien moins fréquentes. Les anciens attribuaient déjà les oscillations du sol à la tension des fluides élastiques ; car Strabon dit que les secousses ne cessèrent à l'île d'Eubée que lorsqu'il se fut ouvert dans la plaine de Lélante, près de Chalcée, une crevasse qui vomit un fleuve de boue enflammée.

On sait que les tremblements de terre se font sentir très-rapidement à une grande distance. On en a un exemple dans celui de Lisbonne et dans les secousses du volcan de Saint-Vincent ; mais il arrive aussi que le choc se propage en ligne droite, sans qu'à la surface les points intermédiaires s'en ressentent. C'est ce qui arrive fréquemment au Pérou et au Mexique, dans les tremblements de terre qui suivent, depuis des siècles, une direction déterminée. « Les habitants des Andes disent naïvement d'un terrain intermédiaire, qui ne participe pas au mouvement général, « qu'il fait pont » (que hace puente), comme s'ils voulaient indiquer par là que ces oscillations se propagent à une immense profondeur au-dessous d'une roche inerte ². »

Effectivement, on trouve dans les mines la preuve de cette supposition. On a vu dans celles de Saxe des ouvriers sortir effrayés par des secousses qui n'avaient point été ressenties à la surface, et il est très-vrai que certaines roches transmettent mieux le mouvement que d'autres. « Ainsi, à Cumana, par exemple, avant la grande catastrophe de 1797, les tremblements de terre ne se faisaient sentir que le long de la côte méridionale et cal-

¹ Humboldt, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. V, p. 37.

² Humboldt, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. II, p. 204.

³ *Idem*, t. V, p. 25.

caire du golfe de Carliaco, jusqu'à la ville de ce nom ; tandis qu'à la péninsule d'Araya et au village de Maniquarez le sol ne participait pas aux mêmes agitations. Les habitants de cette côte méridionale, qui est composée de schiste micacé, élevaient leurs cabanes sur un terrain immobile ; un golfe de 3 à 4,000 toises de largeur les séparait d'une plaine couverte de ruines bouleversée par des tremblements de terre. Cette sécurité, fondée sur l'expérience de plusieurs siècles, a disparu. Depuis le 14 décembre 1797, de nouvelles communications semblent s'être ouvertes dans l'intérieur du globe. Aujourd'hui on n'éprouve pas seulement à la péninsule d'Araya les agitations du sol de Cumana ; le promontoire de schiste micacé est devenu à son tour un centre particulier de mouvement ¹. »

Il arrive souvent aussi que la secousse est plus forte au point où deux roches différentes viennent se joindre, surtout s'il y a une grande différence entre elles, comme, par exemple, une roche de sédiment, qui vient s'appuyer contre une roche cristallisée. On remarque, quoique plus rarement, que les secousses sont limitées dans un cercle très-étroit ; c'est ce qui arrive sur les côtes de la mer Caspienne, au vieux et au nouveau Chamaïchi. La première de ces deux villes, qui est aussi grande que Paris, est ébranlée toutes les nuits de 2 à 3 heures ; la dernière l'est aussi, quoique d'une manière moins régulière ; mais les secousses s'éloignent peu de ces deux localités. A Bakou, qui en est très-rapproché, et où brûlent continuellement les feux que nous avons décrits, il n'y en a pas eu de mémoire d'homme ².

Ces feux agissent probablement comme des soupiraux volcaniques ; car tout porte à croire que, pendant les tremblements de terre, il y a des dégagements de gaz considérables. Ce ne sont que des matières gazeuses qui peuvent projeter l'eau et le sable avec violence, comme cela arrive dans la plupart des secousses. Les feux qui s'échappent des crevasses ne sont

que des gaz qui brûlent avec une flamme plus ou moins brillante. Souvent la mer bouillonne, et d'énormes bulles viennent se répandre dans l'atmosphère. Immédiatement après un tremblement de terre, qui eut lieu, il y a quelques années, dans les Pyrénées, une colonne d'air très-chaud et fortement chargée de soufre, se répandit dans l'atmosphère et enveloppa le cirque de Gavarnie. Elle fut signalée par M. Philippe, dans une lettre à M. Cordier. Était-elle sortie par une fissure du sol, ou était-ce seulement une émission abondante et extraordinaire de l'hydrogène sulfuré qui s'échappe des sources thermales ? On a reconnu aussi une certaine coïncidence entre des dégagements de gaz, qui s'élèvent du fond du lac de Genève, et certains tremblements de terre, qui se sont fait sentir dans la chaîne des Alpes. Si l'on observe rarement ces dégagements, c'est que les gaz ne sont sensibles pour nous, que sous une couche de liquide, autrement ils se dissipent dans l'atmosphère, sans que nous puissions nous apercevoir ni de leur passage ni de leur présence. Enfin, ce qui prouve encore que des émanations gazeuses sont produites lors des tremblements de terre, c'est le bruit souterrain que l'on entend presque toujours, et qui tantôt précède l'éruption et d'autres fois la suit, bruit qui, du reste, n'est pas toujours en rapport avec la force des secousses. Ainsi, à Cumana il les précède constamment, tandis qu'à Quito, et depuis peu à Caracas et aux Antilles, on a entendu un bruit semblable à la décharge d'une batterie, longtemps après que les secousses avaient cessé. Quelquefois même le roulement de ces tonnerres souterrains dure pendant plusieurs mois, sans être accompagné du moindre mouvement oscillatoire du sol ³. Le bruit vient évidemment de bas en haut ; car des esclaves qui tiraient de l'eau d'un puits, près du Rio-Manzarex, entendirent un bruit semblable à l'explosion d'une forte charge de poudre à canon ⁴.

Indépendamment du bruit, les matières gazeuses qui se dégagent ont quelquefois une odeur sulfureuse ou bitumineuse très-mar-

¹ Humboldt, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. II, p. 291.

² Extrait d'une lettre écrite de Bakou, par M. le professeur Schulz, sur les tremblements de terre de cette contrée. *Annales de Chimie et de Physique*, t. XLII, p. 417.

³ Humboldt, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. II, p. 289.

⁴ *Idem*, t. IV, p. 17.

quée, que distinguent très-bien les habitants des pays où les tremblements de terre se font souvent sentir. Les animaux semblent même bien plus affectés que les hommes par ces émanations et ils témoignent une grande inquiétude. Un autre fait tendrait encore à faire croire à d'abondantes émissions gazeuses, c'est que les végétaux qui recouvrent le sol sous lequel le bruit s'est fait entendre, deviennent souvent nuisibles aux bestiaux et occasionnent des épizooties, sans qu'on puisse y découvrir aucune altération ni la présence d'aucune matière étrangère. On sait que les mêmes inconvénients ont lieu pour les plantes frappées de la grêle.

L'influence des saisons a, dans quelques cas seulement, une action déterminée sur les oscillations du sol; mais on n'a pas encore

d'observations assez nombreuses et assez précises pour savoir positivement si quelques circonstances atmosphériques influent sur les tremblements de terre. On peut bien assurer dès à présent qu'il y a souvent dans l'atmosphère, des phénomènes particuliers pendant les secousses et peut-être même auparavant; mais il est présumable que ces signes sont plutôt l'effet que la cause, et que le point de départ de tous ces mouvements est à la surface d'action chimique intérieure, qui s'éloigne continuellement de l'extérieur de la terre. Son éloignement étant plus ou moins grand, selon les localités, ses effets doivent se faire sentir avec des intensités différentes, suivant l'épaisseur de la couche solide qui nous en sépare, suivant sa nature, et les dislocations qu'elle a déjà éprouvées.

CHAPITRE VINGT-TROISIÈME.

DES VOLCANS.

L'étude que nous avons faite de la température intérieure du globe, et l'examen des phénomènes que nous venons de décrire, nous autorisent à penser que la terre est une masse incandescente et fondue, recouverte par une croûte solide d'une certaine épaisseur. Sur plusieurs points, il existe des communications entre l'extérieur et l'intérieur, et le feu central se manifestant du dedans au dehors, produit une série de phénomènes plus ou moins intenses et plus ou moins différents. L'effet et la cause sont confondus sous le nom de *volcan*, quoique cependant on donne le nom de *foyer* au point intérieur d'où provient la puissance volcanique, et celui d'*éruption* à l'ensemble des phénomènes qui sont le résultat de cette force.

Le foyer peut être plus ou moins actif, et les éruptions plus ou moins nombreuses.

Celles-ci sont ordinairement composées de dégagements de gaz très-abondants, d'éjec-

tions de matières sableuses et pulvérulentes, de masses de pierres solides ou demi-fondues, de courants pâteux et incandescents, qui se solidifient par le refroidissement. Elles sont presque toujours accompagnées de flammes et de chaleur, de bruits souterrains et de tremblements de terre.

Souvent le volcan s'ouvre sur une montagne qu'il reconstruit de ses déjections pierreuses ou pulvérulentes; quelquefois il accumule les matières en assez grande quantité pour former lui-même un monticule au milieu duquel est l'ouverture qui communique au foyer. L'expulsion rapide de matières pulvérulentes, s'opposant à ce que les matières lancées à une certaine hauteur retombent précisément sur l'orifice, il se forme un creux régulier, arrondi, ayant la forme d'un entonnoir ou d'un cône renversé, et que l'on désigne sous le nom de *cratère*. Il en résulte que le cratère est souvent placé au sommet

d'une montagne conique, produite par les déjections du volcan. C'est l'orifice par lequel s'échappent ordinairement les matières gazeuses, et quelquefois aussi les masses fondues que l'on connaît sous le nom de *laves*.

Il n'est pas nécessaire que toutes ces circonstances et ces divers détails de forme extérieure se présentent pour constituer un volcan, car il arrive quelquefois que l'éruption se fait par une simple fente, au milieu du sol, ou par le flanc plutôt que par le sommet de la montagne. Une éruption peut aussi avoir lieu sans tremblement de terre, sans secousses, sans épanchement de lave, mais jamais sans dégagement de chaleur et de matières gazeuses.

On voit que certaines éruptions se rapprochent par conséquent des simples dégagements de gaz enflammés que nous avons décrits, et de la simple apparition d'une source thermale. Il y a en effet le plus grand rapport entre tous ces phénomènes, et nos définitions ne peuvent pas être exactes quand la nature groupe elle-même des effets analogues autour d'une cause unique.

Pour mettre de l'ordre dans l'étude de phénomènes si importants, nous allons d'abord décrire d'une manière générale les éruptions volcaniques. Nous examinerons ensuite le nombre et la situation géographique des principaux volcans, ainsi que les phénomènes particuliers que nous ont offerts leurs éruptions, et nous terminerons en exposant la théorie qui paraît le mieux s'adapter aux faits nombreux que nous allons décrire.

ÉRUPTIONS VOLCANIQUES.

Il est assez rare qu'une simple fente donne issue aux matières volcaniques. Elles s'échappent presque toujours d'un cône composé de diverses matières scorifiées, qui sont sorties de l'intérieur et qui se sont déposées assez régulièrement autour de la bouche qui les a lancées. Ce cône atteint quelquefois une très-grande élévation au-dessus du niveau de la mer, ou au-dessus de la plaine qui le supporte; mais il faut faire attention que ce ne sont pas toujours les matières incobérentes et volcaniques qui le composent en entier. Elles ne font souvent que le recouvrir, et bien que

l'élévation soit produite par la force volcanique, il faut la distinguer d'un simple amoncellement de scories et de pouzzolanes. Dans le premier cas, c'est un *centre* ou un *cratère de soulèvement* sur lequel nous reviendrons par la suite; dans le second, c'est un *cône* ou *cratère d'éruption*, c'est-à-dire formé par des matières rejetées de l'intérieur au dehors. Quand il existe au sommet un cratère, il est plus ou moins profond et plus ou moins large; mais ses caractères varient à chaque éruption, à moins qu'elle ne sorte des flancs de la montagne. La hauteur du cône, comparée à la circonférence de la base, est $\frac{1}{25}$ pour le pic de Ténériffe, d'après M. de Humboldt; de $\frac{1}{35}$ pour le Vésuve, et de $\frac{1}{14}$ pour l'Etna, selon les observations de M. de Bœch. La largeur du cratère du pic de Ténériffe est de 300 pieds dans un sens et de 200 dans un autre; celle du volcan de Pariou en Auvergne est de 300 pieds.

Pendant leur période de tranquillité, les volcans laissent seulement échapper quelques vapeurs blanchâtres, qui se répandent dans l'air, ou de larges colonnes de fumée, qui s'échappent des fissures du sol; mais lorsqu'une éruption se prépare, la scène change, et des signes certains annoncent l'approche du phénomène.

Les premiers indices sont des bruits souterrains, qui se prolongent très-loin et agitent le sol d'une manière sensible; en même temps la fumée paraît au sommet du volcan; elle s'élève, sa colonne augmente d'épaisseur, prend une teinte plus foncée, et monte perpendiculairement si le temps est calme et si le vent ne lui imprime pas sa propre direction. Des secousses plus ou moins violentes ébranlent la montagne, et alors se manifestent une partie des phénomènes que nous avons décrits dans le chapitre précédent. Le dégagement des matières gazeuses continue d'avoir lieu; la vapeur d'eau s'unit à une épaisse fumée que viennent sillonner quelques flammes, et bientôt s'affaissant par leur propre poids, ces épaisses vapeurs retombent sur la bouche dont elles s'échappent, en enveloppant la montagne d'un brouillard épais et fétide, qu'une lueur pâle et affaiblie vient parfois illuminer. Il semble que des phénomènes électriques se passent dans l'atmo-

sphère qui entoure la montagne enflammée. La foudre éclate et la pluie tombe, sans que les torrents d'eau puissent affaiblir l'intensité des flammes et l'émission des sables incandescents, qui s'élaucent en gerbes et retombent décolorés sur les flancs de la montagne.

Des pierres rougies sont lancées à des hauteurs immenses, et retombent animées d'un mouvement de rotation rapide, qui influe sur la forme qu'elles conservent après leur refroidissement. Des nuages de cendres s'échappent aussi des ératères, se mêlent aux vapeurs et voyagent, portés par les vents, à d'énormes distances, ou bien, entraînés par les pluies, ils retombent et forment ces torrents de boue dont la puissance est si grande et qui s'étendent au pied du cône, sur les flancs duquel ils ont ruisselé. Les déjections de scories continuent, de nouvelles gerbes enflammées se font jour au milieu des masses de vapeur noire; de nouvelles scories se joignent à celles qui gisent déjà sur les pentes, et les éclats du tonnerre, qui ajoutent encore à l'horreur et à la magnificence du spectacle, préludent à de nouvelles secousses et à de nouveaux efforts. Bientôt tous ces phénomènes semblent s'agrandir, et la lave, qui depuis longtemps bouillonnait dans le ératère dont les parois résistaient à sa pression, brise le cône de scories, foud les matières qui la retenaient captive, et s'échappe comme un fleuve de feu, dont les sources ardentes semblent intarissables. On voit alors ce courant marcher avec une rapidité que déterminent et le point d'éruption et la pente sur laquelle il se répand; on le voit grandir, avancer, s'étendre et s'élargir; on le voit lutter contre tous les obstacles, surmonter les irrégularités du sol, enflammer les forêts, envahir les villages et les champs cultivés, et couvrir de fertiles campagnes d'une couche pierreuse impénétrable à la fois au fer des hommes et aux rayons du soleil. Rien de plus magnifique, rien de plus déchirant que de voir, la nuit, cette longue bande enflammée porter la désolation et la mort sur des plaines auparavant fertiles et peuplées, et de voir ensevelir pour toujours ces villes déjà bâties sur d'anciens courants refroidis. Mais enfin, les sources de feu tarissent, et le courant avance toujours; de nouvelles gerbes s'élèvent encore des éra-

tères, des cendres sont lancées dans l'atmosphère qui, moins agitée, paraît fatiguée de la lutte; des vapeurs se dégagent encore; mais bientôt elles cessent, et quelques fumeroles, dispersées dans l'intérieur du soupirail, s'échappant des fissures du cône, restent pour indiquer qu'une puissante action sommeille et que son réveil viendra renouveler un jour des désastres dont Dieu seul peut connaître l'étendue et la fin.

Tels sont les phénomènes généraux que nous offrent les éruptions volcaniques. Nous allons maintenant étudier en détail chacun de leurs effets, à l'exception des tremblements de terre, dont nous avons déjà parlé. Nous décrirons successivement les éruptions de matières gazeuses, pulvérulentes et solides, et nous terminerons par l'examen de quelques effets particuliers à certains volcans ou à certaines localités. Dans cet examen, nous aurons fréquemment recours à un ouvrage qui, quoique répandu, mériterait de l'être davantage, à cause de la manière consciencieuse et savante à la fois avec laquelle il est écrit, qualités rares, mais réunies dans les *Considérations générales sur les volcans*, par M. le professeur Girardin, de Rouen.

Des bruits souterrains.

Les tremblements de terre qui accompagnent les éruptions volcaniques, sont souvent précédés de bruits sourds et souterrains, qui ressemblent à de fortes décharges d'artillerie ou au roulement d'une voiture sur le pavé. Ces détonations s'entendent de très-loin; car lors de l'éruption du Cotopaxi, en 1744, le mugissement de ce volcan se fit entendre à Honda et à Monpox, villes situées dans un éloignement de deux cent vingt lieues. Si le Vésuve avait la même intensité de force volcanique, on devrait entendre son bruit, d'après cet exemple, jusqu'à Dijon ou à Prague¹.

Ce n'est pas au moyen de l'air que le son se propage à d'aussi grandes distances, c'est par l'intérieur du sol. Si les éruptions du volcan de Saint-Vincent, celles du Tauguragua, du Cotopaxi que nous venons de citer,

¹ HUMBOLDT, *Géographie des plantes*, p. 55.

retentissent de si loin comme un canon d'un volume immense, le fracas devrait augmenter en raison inverse de la distance; mais les observations prouvent que cette augmentation n'a pas lieu. Il y a plus encore : dans la mer du Sud, en partant de Guayaquil pour les côtes du Mexique, MM. de Humboldt et Bonpland ont traversé des passages dans lesquels tous les matelots de leur vaisseau furent alarmés par un bruit sourd, qui venait du fond de l'Océan, et qui semblait communiqué par les eaux. C'était l'époque d'une nouvelle éruption du Cotopaxi, dont ils se trouvaient éloignés autant qu'Éléna l'est de la ville de Naples ¹.

Plusieurs fois, en diverses parties de l'Amérique, ces bruits souterrains se soutinrent avec tant d'intensité qu'on les prit pour le son du canon, et qu'ils donnèrent lieu à des dispositions militaires. Ils paraissent, du reste, en rapport avec la force de l'éruption. Dans quatre voyages que fit sir Humphry Davy sur le cratère du Vésuve, au mois de mars 1815, ce savant rapporte qu'il avait appris à estimer la violence de l'éruption d'après la nature de la détonation. « Un tonnerre souterrain très-sonore et longtemps continué, annonçait une explosion considérable. Avant l'éruption, le cratère paraissait parfaitement tranquille, et son fond, sans aucune ouverture apparente, était de cendres. Bientôt des bruits sourds et confus se faisaient entendre, comme s'ils venaient d'une grande distance. Peu à peu le son approchait et ressemblait bientôt à celui d'une artillerie qui aurait été au pied. Alors des cendres et de la fumée commençaient à s'échapper du fond du cratère. Enfin la lave et les matières incandescentes étaient projetées avec les plus violentes explosions ². »

Émanations gazeuses.

Les matières gazeuses qui s'échappent pendant les éruptions, sont toujours très-abon-

dantes; mais jusqu'à présent on n'y a pas reconnu une grande variété. La vapeur d'eau en constitue la majeure partie. On y trouve ensuite les gaz sulfureux, hydro-chlorique, carbonique, hydro-sulfurique et azote. Ces gaz ne se dégagent pas tous à la fois, il est même assez rare qu'ils sortent pendant une même éruption; mais il faut avouer aussi notre ignorance à cet égard; car c'est très-rarement que l'on a fait des expériences sur ce sujet, et que l'on a pu recueillir et analyser les émanations volcaniques. Il n'y aurait donc rien d'étonnant si l'on venait à annoncer que d'autres matières ont été reconnues dans les émanations gazeuses des volcans.

Ces gaz, seuls ou réunis, mais surtout la vapeur d'eau, souvent mélangés de matières pulvérulentes qu'ils entraînent, constituent ces nuages noirs qui s'élèvent en bouffées au-dessus des cratères et qui ressemblent à de la fumée. Souvent ces nuages, sillonnés par des éclairs, ou plutôt éclairés par la réverbération des matières incandescentes, qui remplissent l'entonnoir, ressemblent de loin à des flammes qui s'échappent de la montagne comme d'une ardente fournaise. Quelques observateurs prétendent même qu'il ne se dégage jamais de véritables flammes des volcans, et qu'il faut rapporter à ces fausses apparences la description précise des observateurs qui les signalent; mais il est bien constaté que des gaz sortent réellement enflammés des cratères.

Les dégagements de gaz ont lieu principalement par l'orifice ordinaire du volcan, quelquefois par les fissures du cône de scories ou par des fumaroles qui s'établissent à la base. Ils ont souvent une action puissante sur les parois qu'ils traversent, d'autant plus que la vapeur d'eau qui les accompagne aide encore à leur action chimique. Lorsque la lave s'élève dans le cratère, ou lors même qu'elle en a déjà fondu les parois, et qu'elle s'écoule sur le sol, on voit encore des matières gazeuses qui s'en échappent et viennent former des bulles à sa surface.

C'est probablement à cette énorme production de gaz et à la vapeur d'eau soumise à une énorme pression qu'il faut attribuer les bruits souterrains et ce roulement prolongé dont nous avons fait mention.

¹ HUMBOLDT, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. V, p. 54.

² Sir H. DAVY, sur les phénomènes des volcans. *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXXVIII, p. 133.

Éjections de sables, de cendres, de scories.

Avant la sortie des laves, on voit lancer par le cratère différentes substances pulvérulentes, accompagnées de fragments plus ou moins volumineux. Ces produits portent différents noms, suivant leur grosseur et leur nature. On les appelle *cendres* quand ils sont sous forme de poussière fine; *sables* ou *pouzzolanes*, lorsqu'ils se présentent sous forme de petits grains irréguliers et fortement torréfiés; *rapilli*, quand ce sont de petits fragments plus gros que le sable; *scories*, quand les morceaux sont encore plus gros, poreux dans tout l'intérieur, quelquefois vitrifiés à la surface et généralement légers comparativement aux autres produits volcaniques. Les *bombes*, les *amandes* ou *larmes volcaniques* sont des variétés de scories ou des morceaux de pâte fondue, qui, lancés à une grande hauteur, se sont arrondis en tournant et aplatis en tombant.

Les *cendres* sont la substance même des laves réduite à une extrême ténuité; elles sont grises ou blanches et rarement noires. Elles sont quelquefois composées d'une infinité de petits cristaux principalement feldspathiques, dont les formes se révèlent par l'examen microscopique. Elles s'élèvent souvent des cratères avec de la vapeur d'eau, et se précipitent en couches d'épaisseur variable, qui se tassent d'elles-mêmes pendant qu'elles sont humides, et forment une masse assez compacte. On les a vues aussi se déposer à l'état sec, puis recevoir un grand nombre de larges gouttes de pluie, qui les aggloméraient en globules et donnaient ainsi à ces dépôts une structure oolitique, dont on a longtemps ignoré l'origine.

Abondantes dans certaines éruptions, les cendres parviennent à se dégager des vapeurs, et le vent les transporte alors à d'énormes distances. Procope assure qu'en 472 celles du *Vésuve* furent portées jusqu'à *Constantinople*, c'est-à-dire à deux cent cinquante lieues. Celles de l'*Etna*, en 1329, allèrent jusqu'à *Malte*; celles de l'*Hécla*, en 1766, se répandirent à cinquante lieues. *Rome*, *Venise*, sont très-souvent incommodées par les cendres du *Vésuve*. En 1794, toute la *Calabre* fut enveloppée par les nuages épais que les

cendres du même volcan produisirent. Beaucoup d'auteurs estiment que celles lancées par les volcans de l'Asie et de l'Amérique se répandent à plus de cent lieues de distance. Dans l'éruption considérable du *Tomboro*, volcan de l'île de *Sumbawa*, qui eut lieu en avril 1813, les cendres vomies par ce volcan s'étendirent sur *Java*, sur *Macassar*, sur *Batavia*; elles parvinrent même jusqu'à *Bencoolen*, à *Sumatra*, qui est aussi éloigné du point de départ que l'*Etna* l'est de *Ham-bourg*.

La rapidité avec laquelle ces cendres sont entraînées à des distances si considérables, n'a rien qui doive étonner, si on fait attention que la vitesse du vent peut aller jusqu'à cent trente-deux pieds par seconde, ce qui fait vingt-neuf lieues par heure et sept cents par vingt-quatre heures, s'il soufflait pendant tout ce temps dans une même direction et avec la même violence. Ces cendres forment des nuages si épais, que les endroits où elles s'étendent sont plongés souvent dans une obscurité profonde. Dans la fameuse éruption du *Vésuve*, arrivée le 22 octobre 1822, et qui dura douze jours de suite, l'atmosphère était tellement remplie de cendres, que tout le pays, au milieu du jour, fut, durant plusieurs heures, enveloppé de ténèbres profondes, et qu'on allait dans les rues des villages avec des lanternes, comme cela arrive si souvent à *Quito*, pendant les éruptions du *Pichincha*. Dans l'éruption de l'*Hécla*, en 1766, de pareils nuages produisirent une telle obscurité, qu'à *Glaumba*, éloigné de plus de cinquante lieues, on ne pouvait se conduire qu'à tâtons¹. Le 1^{er} mai 1812, un nuage de cendres et de sables volcaniques, venant d'un volcan de l'île *Saint-Vincent*, couvrit toute la *Barbade* (distant de plus de vingt lieues), et y répandit une obscurité si profonde qu'à midi, en plein air, on ne pouvait apercevoir les arbres et autres objets près desquels on était, pas même un mouchoir blanc placé à six pouces des yeux². A l'éruption du *Cotopaxi*, le 4 avril 1768, la pluie de cendres fut si forte, qu'à *Saint-Ambato* et à *Tacnaga*, les

¹ Olafsen's, *Reise durch Island*.

² *Annales de Chimie et de Physique*, octobre 1818.

habitants marchaient dans les rues, pendant le jour, avec des lanternes ¹.

Les *sables*, *pouzzolanes* ou *rapilli* qui suivent ou précèdent souvent l'émission des cendres, sont de très-petites scories, mais qui présentent tous les caractères des grandes. On ne conçoit pas trop comment elles se forment; on suppose cependant que les gaz, en s'échappant de la lave incandescente, en entraînent de petites parties qui se figent en l'air et se refroidissent assez pour ne plus adhérer en retombant les unes sur les autres. Ces pouzzolanes renferment fréquemment des cristaux de pyroxène; leur couleur est noire ou rouge, quelquefois jaune, quand elles ont été atteintes par des émanations de gaz acides. Les parties les plus fines de ces diverses matières sont souvent entraînées par les eaux, loin des cratères d'éruption, et vont former des dépôts dans les diverses régions des terrains volcaniques.

Les *scories*, *bombes* ou *amandes* ont la même origine que les pouzzolanes : ce sont de petites masses plus ou moins poreuses et quelquefois extrêmement légères, qui sont restées longtemps en l'air et qui retombent ainsi presque solidifiées. Quelquefois pourtant elles s'agglutinent encore, mais le plus souvent elles se tassent en tombant, et forment des couches dont chaque morceau est séparé des autres, comme le sont les couches de grêlons qui se tassent sur le sol pendant un orage. La surface des scories paraît quelquefois vitrifiée, comme celle de certains aérolithes; leur intérieur est, dans quelques cas, entièrement vitreux; leur couleur est noire, rouge ou blanche, jaune quand elles ont été attaquées par les acides gazeux qui s'échappent pendant les éruptions. Le fer est la matière qui les colore, et il paraît que la coloration tient à son degré plus ou moins élevé d'oxidation, car on voit des scories moitié noires et moitié rouges, d'autres qui présentent l'une ou l'autre de ces deux teintes de la manière la plus intense; la majeure partie est brune, tirant tantôt sur le noir, tantôt sur le rouge. Les scories blanches sont désignées sous le nom de *ponces*; elles con-

tiennent assez souvent des cristaux de feldspath et des filets blancs et soyeux; leurs fibres sont tantôt parallèles, tantôt entrecroisées; elles ont généralement le grain plus fin que les scories noires ou rouges.

Les bombes volcaniques sont ordinairement plus compactes et plus volumineuses que les scories légères; leur forme est arrondie ou ovale; elles sont souvent aplaties d'un côté et terminées par une espèce de prolongement qui prouve que la matière dont elles ont été détachées était pâteuse, et offrait une certaine résistance à la séparation. On remarque aussi qu'un morceau de roche étrangère a souvent servi de noyau à ces singulières scories; quelquefois même un cristal de pyroxène ou de feldspath, un fragment de péridot, etc., ont déterminé leur singulière formation. Du reste, les scories et les fragments de roches étrangères, rejetées pendant les éruptions varient autant par leur volume que par leur forme; ceux que le Cotopaxi et le pic de Teyde ont lancés, ont plusieurs toises de circonférence. Si ces fragments ne sont pas toujours en rapport avec l'élévation de la montagne ignivome, ils le sont du moins avec l'intensité d'action que possède chaque volcan.

Ainsi, tandis que le Cotopaxi vomit des morceaux monstrueux que toutes les forces humaines réunies ne pourraient mettre en mouvement, le Stromboli ne lance ordinairement que des fragments de quelques centimètres de diamètre.

La hauteur à laquelle ces masses s'élèvent dans l'air est souvent prodigieuse. Le P. della Torre raconte (*Histoire du Vésuve*) que, dans le violent incendie du 20 janvier 1783, ayant calculé le temps que les cailloux lancés mettaient à tomber, il le trouva de huit secondes, d'où il conclut qu'ils étaient montés à la hauteur de neuf cent cinquante-six pieds de Paris. Les pierres que lança le Vésuve, en 1779, restèrent en l'air pendant vingt-cinq secondes; l'Etna, en 1669 et en 1819, lança de grandes masses de pierres jusqu'à une lieue de distance. Le Cotopaxi a rejeté, en 1535, des masses de dix mètres cubes à trois lieues au loin de la montagne. M. d'Aubuisson de Voisins a cherché à connaître quelle pouvait être la plus grande vitesse de projection des volcans, et il a trouvé, par le calcul, que cette

¹ GIRARDIN, *Considérations générales sur les volcans*, p. 50.

plus grande vitesse, pour le Vésuve et l'Etna, n'allait pas au delà de celle qu'ont les boulets au sortir de vos canons, vitesse qui est de quatre à cinq cents mètres par seconde.

Toutes ces matières solides incohérentes, composées de cendres, de rapilli, de scories, de ponce, de morceaux de laves rompus et brisés, de pierres même nullement volcaniques, constituent donc les déjections des volcans. Ces déjections se font par jets qui paraissent enflammés pendant la nuit, se succèdent avec une grande irrégularité, et souvent avec une telle fréquence que les pierres d'un jet sortent de la bouche du volcan, tandis que celles lancées par le jet précédent sont encore en l'air ou retombent. Dans ce cas, la hauteur à laquelle ces pierres s'élèvent n'est pas ordinairement très-grande; d'autres fois, au contraire, comme je viens de le dire tout à l'heure, ces matières sont lancées à de très-grandes élévations et offrent une masse volumineuse. Dans la fameuse éruption du Vésuve, en 1794, aussitôt que le dégorgeement de la lave par les flancs du volcan eut cessé, les éruptions de matières détachées du sommet recommencèrent et durèrent pendant plusieurs jours, sans interruption. On voyait à chaque instant sortir de la bouche du cratère une masse si démesurée de pierres et de matières terreuses, qu'elle en remplissait tout l'espace, bien qu'il eût un mille de circonférence; elle s'élevait à une grande hauteur, et s'écartant en l'air, elle formait une autre montagne qui paraissait plus grande que celle d'où elle sortait.

Cependant les explosions de matières incohérentes sont quelquefois isolées et forment une seule grande éruption, au lieu de se succéder les unes aux autres; on voit une colonne immense et d'un diamètre égal à celui de la bouche du volcan, se soulever en l'air, monter à une grande hauteur, et se dilater ensuite par son sommet, en prenant la forme d'un pilon, forme si bien décrite par Pline le Jeune, dans sa lettre à Tacite sur la mort de son oncle Pline le Naturaliste. Bracciui dit, dans sa relation de l'éruption du Vésuve de 1631, que l'élévation de la colonne qui sortait du cratère, prise de Naples avec un quart de cercle, dépassait trente milles. Cette mesure paraît un peu exagérée. (Breislack.)

Cette colonne, parvenue à sa plus grande hauteur, ne tarde pas à se diviser et à former une pluie de pierres et de cendres qui occasionnent des ravages terribles aux environs des volcans. La quantité de matières qui s'échappent dans ces circonstances, excède tout ce que l'imagination peut se représenter. Quoique le Vésuve soit un des plus petits volcans d'Europe, il vomit cependant, dans l'éruption qui eut lieu au temps de Titus, une si grande quantité de matières détachées, qu'elles suffirent pour ensevelir Pompéï, Herculaneum et Staba, trois villes au S. O. du Vésuve, sous un amas de plus de cinquante pieds, qui recouvrit ensuite un lit de laves de plusieurs pieds de profondeur.

Dans l'éruption du 22 octobre 1822, qui a été la plus forte depuis celle de 1794, il y eut dans les environs du volcan jusqu'à huit pieds de cendres et de rapilli. Les toits des maisons ressortirent seuls des cendres, dans les hameaux de Somma et d'Ottajano. L'eau, en dissolvant les parties calcaires, cimenta les sables volcaniques. Quatre mille habitants perdirent leur demeure par suite de ce terrible événement.¹

Quelle doit être, d'après cela, la grandeur des éruptions des volcans du nouveau continent! C'est en contemplant des effets aussi gigantesques que l'homme doit être effrayé de la toute-puissance de celui qui a tout animé de son souffle créateur, et que, par un retour sur lui-même, il doit sourire de son orgueil et de sa vanité.²

Des éruptions de lave.

Tout le magnifique spectacle d'un volcan en activité n'a quelquefois d'autres résultats qu'un amas de sables et de scories disposés en un cône plus ou moins régulier, et souvent terminé par un cratère; mais dans une éruption complète, il sort aussi de la montagne une masse de lave incandescente dont l'émission apaise ordinairement les phénomènes volcaniques, et rétablit l'équilibre de

¹ Voyez sur l'éruption du Vésuve, du 22 octobre 1822, par M. C. Schnetzer; *Wien. Zeit.*, mai 1823, p. 529. Voir aussi *Geist. der Zeit.*, juillet 1823, p. 115.

² GIBBON, p. 61.

l'extérieur à l'intérieur du globe. Quelle que soit la composition des laves, ce sont des matières minérales, tenues en fusion par la chaleur centrale, et qui semblent avoir été soumises à une pression considérable avant leur sortie du sol.

Elles s'élèvent dans la montagne volcanique par la cheminée qui met le cratère en communication avec l'intérieur de la terre, et là se trouve un lac de matières embrasées que le conrage aidé de circonstances favorables a permis à plusieurs observateurs de contempler. Le célèbre architecte Soufflot se fit suspendre, en 1750, dans l'intérieur du cratère de l'Etna, à l'aide de longues cordes attachées au bord même de la cavité. Un évêque anglais se fit aussi descendre, il y a plus de soixante ans, sur un rocher qui faisait saillie dans le Vésuve; il vit dans le fond du gouffre comme un lac de feu sur lequel voltigeaient des flammes bleuâtres. Spallanzani étant monté, en 1788, à la cime de l'Etna, dans un moment où le volcan était parfaitement tranquille, put entrer dans le cratère : au fond il vit une ouverture d'une trentaine de pieds d'où s'élevait perpendiculairement une colonne de fumée très-blanche, qui pouvait avoir vingt pieds de diamètre dans sa partie inférieure. S'étant approché du bord dans le temps où la colonne était poussée par le vent dans un sens opposé, il aperçut au fond de l'ouverture une matière liquide embrasée, qui avait un mouvement d'ébullition très-léger; on la voyait descendre et monter presque jusqu'au cratère : c'était la lave. Les pierres qu'on y jetait faisaient entendre un bruit pareil à celui qu'elles auraient produit si elles étaient tombées sur une pâte. Le même naturaliste a pu aussi apercevoir l'état intérieur du cratère de Stromboli : la lave présentait le même aspect, avec cette particularité qu'elle était dans une agitation continuelle et assez violente¹.

La hauteur des cônes volcaniques a une influence marquée sur le mode d'épanchement de la lave; car la différence entre ces hauteurs est extrêmement grande. Le Stromboli et le Cotopaxi paraissent les deux termes de la série. Le premier a environ 100 toises de hauteur et le second 2,950.

La lave éprouve, dans l'intérieur des cratères, des oscillations qui élèvent et abaissent successivement son niveau, et il est très-rare qu'elle les emplisse au point de déborder par-dessus. Le plus ordinairement la pression qu'elle exerce sur les parois et la haute température qu'elle possède, suffisent pour fondre une partie des matières incohérentes qui les composent, dans les points où il y a le moins de résistance, et la lave s'échappe en laissant pour témoin de son élévation, une ligne de scories ou de matières fondues autour de la portion intacte du cratère qu'elle vient d'égueuler.

Si le cône volcanique est très-élevé, c'est plus souvent par le bas que l'éruption de lave s'opère, comme cela arrive à Ténériffe, comme on l'observe surtout à l'Etna, dont les flancs sont couverts d'une centaine de montagnes volcaniques, qui sont nées sur ses pentes et ont donné naissance à de nombreux courants. Le Monte-Rosso, aussi considérable que le Vésuve, est le produit d'une éruption de l'Etna. Il se forma en trois mois, en 1669, par des éjections de sable et de scories, après que cette nouvelle bouche eut vomi une immense coulée de lave qui fut couvrir une partie de la ville de *Catane*, et qui occupa une lieue et demie de largeur, sur cinq de longueur.

Dans l'éruption de 1787, l'on vit, au contraire, la lave s'élever jusqu'au sommet du cône, à dix mille pieds de hauteur, remplir son immense cratère de six mille pieds de diamètre, et se répandre par-dessus ses bords. Une éruption analogue eut lieu en mars 1855.

Les mêmes phénomènes s'observent au Vésuve. Souvent c'est le cratère supérieur qui se remplit; d'autres fois il se fait des ouvertures latérales, comme dans l'éruption de 1794. La lave se fit jour sur les deux flancs opposés de la montagne; l'une des bouches la vomissait du côté du couchant, vers le rivage de la mer; l'autre dans la partie orientale. Toutes deux agissaient en même temps; celle du côté de la mer était la plus élevée, et l'éruption était beaucoup plus véhémence et plus considérable; c'est celle qui détruisit la ville de *la Torre-del-Greco*, et qui s'avança de trois cents pieds dans la mer.

¹ Voyage dans les Deux-Siciles, chap. VIII et X.

Elle se monte dans les rues, autour des maisons, et engloutit sans abattre, à cause du peu de rapidité de sa marche.

Température des laves. — De grands phénomènes s'opèrent depuis la sortie des laves du volcan jusqu'à leur entier refroidissement. A peine échappées à l'énorme pression qu'elles supportaient, elles se boursoufflent et s'étendent. Les gaz qui ne sont plus comprimés se dégagent. Il semble que la surface de la lave elle-même représente en petit la grande éruption qui lui a donné naissance. On voit des monticules s'élever sur le courant qui vient de naître. D'abondantes émissions de gaz et de vapeur y creusent de petits cratères, des scories s'en échappent et la lave bouillonne encore en marchant toujours, laissant à la fois des éminences et des cavités, des boursoufflures et des cratères en miniature. Toutes cependant ne sont pas aussi tourmentées après leur sortie; mais la plupart produisent en abondance des matières salines que l'eau des pluies vient bientôt entraîner. On rencontre des efflorescences composées de chlorure de sodium mélangé de chlorure de fer; on y trouve du sulfate de soude, du sulfate et de l'hydrochlorate de potasse, du sulfate et de l'hydrochlorate d'ammoniaque, de l'oxide de cuivre. Sir H. Davy vit, pendant l'éruption du Vésuve de 1819—1820, un cristal de sel marin, coloré en pourpre par de l'hydrochlorate de cobalt. Le chlorure de sodium ou sel marin est quelquefois si abondant dans la même localité, et les masses rejetées en 1822 étaient si considérables, que les habitants de quelques villages autour du Vésuve les recueillirent et en firent des provisions pour leur usage domestique¹.

Cependant la surface des courants ne tarde pas à perdre sa fluidité et sa haute température. Elle noircit peu à peu par le contact de l'air et finit par se solidifier; mais il s'en faut de beaucoup que l'intérieur se refroidisse également. Tant qu'il reste une couche de lave qui conserve un peu de fluidité pâteuse, le courant avance et la couche supérieure ligée se brise de mille manières, tout en com-

primant toujours la conche encore liquide qui continue d'avancer. C'est à cette inégalité de refroidissement qu'il faut attribuer l'état de dislocation de toutes les coulées, et si les mêmes caractères ne nous sont pas offerts par certaines laves anciennes, comme les basaltes, c'est qu'elles ne se sont pas épanchées sur des plans inclinés, mais qu'elles se sont rassemblées dans des bassins où elles ont acquis un niveau constant.

Les cours d'eau qui occupent souvent les vallées dans lesquelles les laves descendent, contribuent aussi à les refroidir; ils finissent par reprendre leur ancien cours, et viennent former des sources à l'extrémité des courants refroidis, comme on l'observe dans la plupart des volcans éteints.

On ne peut se faire une idée du long espace de temps qui est nécessaire pour le refroidissement complet des laves. M. Poulet Scrop rapporte dans ses ouvrages sur les volcans, qu'il a observé, en 1819, sur les flancs de l'Etna, un courant qui, neuf mois après l'éruption, marchait encore d'environ un mètre chaque jour. M. Élie de Beaumont, dans son voyage à l'Etna, a vu les mains de son guide brûlées par le sel ammoniac qu'il récoltait péniblement sur la lave, vingt-deux mois et demi après sa sortie du cratère.

La grande coulée de 1669, qui vint s'amonceler à une grande hauteur au pied des murs de Catane, fumait encore au bout de huit ans. Les coulées qui surgirent, en 1783, au pied de Skaptar-Jekul, en Islande, fumaient encore en 1794, onze ans après l'éruption.

Vers la fin d'octobre 1852, M. Élie de Beaumont vit la grande coulée qui, deux ans auparavant (le 28 août), était sortie des flancs du Vésuve et s'était dirigée vers Ottajano; il s'en dégageait un épais nuage qu'on apercevait du milieu du golfe de Naples, à quatre lieues de distance. Cette fumée continuait encore à la fin de décembre de la même année².

On conçoit facilement que la lave puisse conserver si longtemps une température élevée, lorsqu'elle est rennée en coulées d'une

¹ LAUGIER ET GAILLARD, *Annales du Muséum*, 5^e année, n° 12, p. 435.

² ÉLIE DE BEAUMONT, *Recherches sur le mont Etna. Annales des Mines*, 3^e série, t. IX, p. 504.

grande épaisseur ; les parties extérieures s'opposent au rayonnement intérieur. Il arrive pour ces masses ce qui a lieu pour le refroidissement du globe ; il est presque nul maintenant, parce qu'une couche solide assez épaisse s'oppose à l'émission de la chaleur. C'est ce que M. Élie de Beaumont observa sur la lave que nous avons citée plus haut, et qui a de dix à douze mètres d'épaisseur. Depuis vingt-deux mois et demi elle était encore chaude dans l'intérieur, tandis que la lave qui, au mois de mars 1835, c'est-à-dire depuis dix-huit mois seulement, s'était déversée par-dessus les bords du grand cratère, et qui avait environ trois mètres de puissance, était complètement refroidie ¹.

Volume des coulées. — La quantité de lave qui s'échappe dans une éruption est quelquefois prodigieuse et effraie l'imagination ; mais c'est bien peu de chose, si on la compare à la masse de la terre.

La lave qui sortit du Vésuve en 1757 fut calculée par Serrao à 5 millions environ de mètres cubes.

Breislack, qui a donné une description de l'éruption de 1794, qui détruisit la ville de Torre-del-Greco, a calculé que la lave qui dégorgea alors du Vésuve, par deux points différents, avait plus de 11 millions de mètres cubes. Celle de Pariou, en Auvergne, offre un total de 55 millions de mètres cubes, et celle de Gravenoire de 57 millions. Ces masses cependant ne peuvent pas se comparer à celle qui, en 1669, sortit de l'Etna et coûta la vie à 17,000 personnes à Catane, et à plus de 60,000 dans la Sicile.

Ce volcan couvrit de sa lave un espace de quatorze milles en longueur, sur six milles en largeur, par conséquent quatre-vingt-quatre milles carrés de surface. Si on multiplie ce nombre par la hauteur de la masse, on obtient un total qui effraie l'imagination. Un courant a couvert, en 1785, dans l'Islande, une étendue de vingt lieues de long, sur quatre. C'est l'exemple le plus remarquable que l'on connaisse, et il prouve bien évidemment qu'une telle masse ne peut provenir que de l'intérieur

du globe ; car aucune montagne de cette lie ne pourrait la contenir dans ses flancs.

Sur quelques phénomènes dépendant des éruptions volcaniques.

Quelques phénomènes autres que ceux que nous venons de décrire accompagnent encore les éruptions volcaniques et modifient plus ou moins les cônes et les cratères qui servent d'issues aux diverses matières dont nous avons parlé. Indépendamment des tremblements de terre, qui changent quelquefois entièrement l'aspect des montagnes volcaniques, les phénomènes météorologiques ont aussi une action marquée pendant les éruptions. Des décharges électriques se succèdent pour ainsi dire sans interruption, et établissent une communication continue entre le cratère et l'atmosphère. Les vapeurs abondantes qui se dégagent ne tardent pas à se condenser, et retombent en larges gouttes sur la terre qu'elles inondent. Ces pluies rencontrant des sables et des scories vomies par le volcan, les entraînent avec elles, et forment des alluvions instantanées, qui descendent de la montagne, sous forme de torrents de boue. En général, l'apparition des pluies indique la cessation de la crise, et le volcan reprend ensuite son état de repos habituel.

Il ne faut pas confondre ces petites alluvions boueuses avec ces immenses torrents qui descendent des volcans du Nouveau-Monde, et qui rendent en général les éruptions si désastreuses. Rarement c'est par les bords du cratère, mais presque toujours par des crevasses latérales, que sort une boue demi-liquide, dont la quantité est énorme. Ces éruptions fangeuses sont rares en Europe, où les volcans n'atteignent pas une très-grande élévation ; mais, selon M. de Humboldt, elles sont très-communes en Amérique, où ces matières boueuses sont souvent les seules que rejettent les volcans. En effet, les énormes cônes volcaniques de cette partie du monde atteignent une telle élévation, que de vastes amas de neiges se rassemblent sur leur sommet, pendant les intervalles de repos. Ces masses glacées se fondent lorsque les volcans commencent à agir ; elles s'épanchent vers les régions inférieures, et produisent

¹ ÉLIE DE BEAUMONT, Recherches sur le mont Etna. *Annales des Mines*, t. IX, p. 601.

des inondations plus désastreuses encore qu'elles ne sont fréquentes. C'est aussi ce qui a lieu pour les volcans d'Islande, mais dans une proportion bien plus faible. Il arrive plus souvent encore que ces éruptions boueuses sont dues aux lacs souterrains, qui se forment de vastes cavités, placées tantôt sur la pente, tantôt au pied des volcans, et dont les eaux commencent de plusieurs manières avec l'intérieur de ces montagnes.

Quand les commotions terrestres qui précèdent toutes les éruptions ignées dans la chaîne des Andes, ont ébranlé fortement toute la masse des volcans, alors les gouffres souterrains s'entr'ouvrent, et il en sort en même temps de l'eau, du tuf argileux, et souvent une énorme quantité de poissons. C'est ce qui arriva dans la nuit du 19 au 20 juin 1798, lorsque la cime du Carguaraizo, montagne haute de 18 mille pieds, s'écroula : toutes les campagnes environnantes, dans un rayon de deux lieues carrées, furent couvertes de boue et de poissons; sept ans auparavant, une fièvre pernicieuse, qui désola la ville d'Imburra, avait été attribuée à une semblable éruption de poissons du volcan d'Imbaburú. Le Cotopaxi, le Tunguragua et le Sangay vomissent également des poissons, quelquefois par le cratère qui est au sommet de ces montagnes, quelquefois par les fentes latérales, mais toujours à 2,500 ou 2,600 toises de hauteur au-dessus du niveau de la mer. Quelques Indiens assurent que le poisson vomi par ces volcans, descend encore vivant le long du revers de la montagne; mais ce qu'il y a de certain, c'est que parmi la prodigieuse quantité de poissons que rejette le Cotopaxi, avec des torrents d'eau douce et froide, il y en a très-peu qui soient assez défigurés pour faire croire qu'ils aient été exposés à l'action d'une forte chaleur; remarque bien singulière, si l'on fait attention à la mollesse de la chair de ces animaux et à la fumée très-dense que le volcan exhale en même temps. Ces poissons habitent, selon toute apparence, les lacs souterrains qui existent dans la chaîne des Andes. Ils appartiennent du reste à la même espèce que ceux que l'on rencontre dans les ruisseaux au pied même des volcans. Les habitants les nomment Prenadillas; c'est le *Pimelodes Cyclopus*.

Plusieurs volcans du Japon ont aussi des éruptions analogues à ceux de l'Amérique méridionale. Le 18 janvier 1795, à cinq heures six minutes, toute la cime du mont *Unsen*, dans le district de *Njozon* et *Gambakori*, s'écroula et il en sortit des torrents d'eau bouillante pendant plusieurs jours. Le 1^{er} avril, après un tremblement de terre effroyable, le mont *Illigama*, dans l'île de *Kion-Sion*, vomit d'abord une énorme quantité de rochers dans la mer, ce qui fut suivi d'une inondation, et ensuite il sortit de la montagne un torrent d'eau qui fit périr environ 55,000 personnes. Les autres volcans connus du Japon, l'*Asamga-Daki* et le *Bicono-Koubi*, dans l'île de *Nifou*, ont des éruptions analogues aux volcans d'Europe, si ce n'est qu'ils rejettent aussi beaucoup de boue¹.

Quelques éruptions d'Amérique ont aussi donné naissance à une matière riche en charbon, espèce de boue ou de tourbe connue sous le nom de *moya*, et employée comme combustible par les habitants.

Ces diverses éruptions boueuses ne se font pas seulement par le cratère ou par les fentes latérales des volcans, elles ont lieu aussi, suivant M. de Humboldt, par des crevasses de la terre, à la suite de violents ébranlements. Ainsi, dans les Andes de Quito, le 4 février 1797, un rocher de trachyte s'ouvrit dans les environs de Pésileo, et couvrit le terrain d'une énorme masse de ce *moya* dont nous venons de parler. La même matière sortit sous forme de collines coniques près de Rio-Bamba. Pendant le tremblement de terre de Cumana, du 14 septembre 1797, plusieurs crevasses lancèrent de l'eau et du bitume. Dans une plaine qui s'étend vers Cassany, à deux lieues au sud de Cariaco, la terre s'entr'ouvrit, et lança de ses crevasses, de l'eau chargée d'acide sulfurique. Pendant le tremblement de terre de Caracas, la terre se fractura près de Valcillo, à quelques lieues de Valencia, et lança une si grande quantité d'eau, qu'il s'en forma un nouveau fleuve. On observa le même phénomène à Porto-Cabello. A l'ouest de la Sierra-de-Méapiec, du bitume fut lancé d'un terrain creux

¹ Relations sur le Japon, par Titsingh, traduit en anglais par F. Shoberl, sous le titre *Illustrat. of Japon*. Lond., 1812.

pendant les commotions souterraines qui dévastèrent Cumana.

Nous venons de résumer les différents caractères des éruptions, nous venons d'étudier les volcans dans leurs grandes agitations et leurs violents paroxysmes, mais il s'en faut de beaucoup que leur puissante action se manifeste sans discontinuité. Les éruptions n'ont lieu qu'à des époques indéterminées. Quelques-uns restent quelquefois des siècles entiers sans donner aucun signe d'action, puis ils se réveillent tout à coup. Selon M. de Humboldt, les éruptions sont d'autant plus rares que les volcans sont plus élevés. Le plus petit d'entre eux, le Stromboli, est dans une continuelle agitation; son cratère est toujours rempli d'une lave en fusion, qui s'élève jusqu'à ses bords, comme une énorme soufflure, se crève avec une forte explosion, et lance dans les airs une partie de la matière fondue, de la fumée et des cendres. Peu à peu la lave s'affaisse et redescend, pour remonter comme auparavant, après un demi-quart d'heure d'intervalle. Les éruptions du Vésuve sont fréquentes, celles de l'Etna sont plus rares; celles du pic de Ténériffe le sont encore davantage. Les cimes colossales des Andes, le Tunguragua, le Cotopaxi, le Sangay, etc., offrent à peine une éruption dans l'espace d'un siècle¹.

Beaucoup de volcans brûlent depuis un temps immémorial, en conservant toujours la même énergie. Le Vésuve et l'Etna ont eu des éruptions dans les temps les plus reculés. Avant l'ère chrétienne, le Vésuve paraît avoir été longtemps en repos; on avait cependant conservé la mémoire de ses anciens embrasements. Plusieurs auteurs anciens, notamment Strabon et Diodore de Sicile, parlent du Vésuve comme ayant jeté des flammes à des époques inconnues pour eux. On regarde communément comme la plus ancienne de ses éruptions connues, celle qui arriva le 24 août de l'année 79 de l'ère chrétienne, deux mois après la mort de Vespasien; celle enfin, qui fut cause de la mort de Pline le Naturaliste, et qui ensevelit le même jour Herculaneum, Pompéi et Stabia. A cette époque, de grands arbres croissaient dans le cratère du Vésuve, et depuis lors

près de quarante éruptions se sont succédées. Les premiers embrasements connus du Vésuve ne produisirent que des cendres et des scories incohérentes. Ce fut dans l'éruption de 1037 qu'il en sortit de la lave pour la première fois, et c'est sur ce courant de laves qu'est bâti le château royal de Portici².

La durée des éruptions varie singulièrement. Tantôt elles ne durent que quelques minutes, et sont alors très-fréquentes: telles sont les simples éruptions de cendres et de ponzzolanes, qui ont lieu au Vésuve et à l'Etna; tels sont encore les élancements périodiques de Stromboli. D'autres fois elles durent quelques heures, comme celles de l'Awatscha au Kamtschatka, qui en 1737, continua pendant 24 heures. Plus habituellement elles persistent pendant plusieurs jours: telles sont celles du Vésuve et de l'Etna; ou pendant plusieurs mois, comme dans l'île de Ténériffe. Plus rarement elles durent des années entières, quoique cela arrive au Cotopaxi, au Gunung-Api, dans les Moluques et dans les volcans de l'Islande.

Ordinairement après les grandes éruptions, la montagne ne fait plus qu'émettre un dégagement très-lent et paisible de vapeurs peu abondantes mais corrosives. Ces vapeurs, qui sortent en différents endroits du cône, s'observent aussi dans les volcans qui sont depuis longtemps en repos ou qui s'éteignent tout à fait. C'est ce qu'on appelle *solfatare* ou *fumarole*. Les Champs Phlégréens, sur la côte de Pouzzole, dans le royaume de Naples, où l'on voit les restes d'un ancien volcan ayant actuellement l'aspect d'une plaine, présentent des milliers de ces fumaroles. Ces dernières émanations de l'action volcanique offrent en général une composition compliquée. On y trouve de l'eau, de l'acide sulfurique, des acides sulfurique et hydrochlorique, du soufre en abondance, de l'hydrogène qui peut-être a dissous le soufre, et l'abandonne comme l'acide sulfureux, pour anéantir l'oxygène et l'hydrogène qu'ils contiennent. De nombreux produits se déposent sur les fissures des roches qui composent les parois du cratère, et nulle part les réactions chimiques ne sont plus abondantes et plus variées³.

¹ HUMBOLDT, *Relation historique*, t. I.

² GIRARDIN, p. 77.

³ Idem, p. 78.

CHAPITRE VINGT-QUATRIÈME.

DE LA DISTRIBUTION GÉOGRAPHIQUE DES VOLCANS ET DE LEURS CARACTÈRES PARTICULIERS.

Les bouches volcaniques ne sont pas disséminées au hasard à la surface du globe, et l'on conçoit en effet que le feu central, en cherchant à se faire jour au dehors, a dû percer la croûte de la terre aux points où elle offrait le moins de résistance et où des causes particulières rendaient plus facile l'émission des gaz et des autres matières.

Le nombre des volcans connus sur toute la terre s'élève à environ 500. Les uns sont en pleine activité; les autres semblent s'éteindre, mais reprendront peut-être par la suite une force et une activité nouvelles. On connaît en outre un très-grand nombre de volcans complètement éteints, et qui, selon toute apparence, ne se rallumeront jamais. Ils sont dispersés dans toutes les parties du monde, et nous prouvent que les feux volcaniques ont été plus intenses autrefois que de nos jours.

Ces trois cents volcans sont inégalement placés dans les îles et les continents, ainsi qu'on peut le voir par le tableau suivant tiré de l'ouvrage de M. Girardin.

Nombre des volcans actifs et des solfatares, dans les cinq parties du monde.

PARTIES DU MONDE.	SUR LES CONTINENTS.	DANS LES ÎLES.	TOTAL.
EUROPE.....	4	20	24
AFRIQUE.....	2	9	11
ASIE.....	17	29	46
AMÉRIQUE.....	86	28	114
Océanie.....	1	108	109
TOTAUX....	109	194	303

On voit que ceux qui sont situés dans les îles sont aux autres comme le nombre 2 est à 1, à très-peu près; mais si ensuite nous examinons la position de ceux qui brûlent sur le continent, nous remarquerons que la plupart d'entre eux sont placés sur les bords de la mer, ensuite qu'il n'y a qu'un très-petit nombre de montagnes ignivomes qui soient réellement éloignées des côtes; mais ce petit nombre suffit pour prouver que l'eau de la mer n'est pas, comme on l'avait pensé, la cause première des éruptions volcaniques. Elle peut bien avoir une influence marquée sur ces phénomènes; mais ce qui détermine cette position remarquable, est probablement la ligne de fracture qui limite les continents soulevés au-dessus de la mer. La moindre résistance de cette ligne apporte moins d'obstacles aux fluides élastiques et à l'issue des matières fondues qui s'échappent de l'intérieur. Il est bien plus difficile à la matière de se frayer une issue au milieu d'un continent, parce que, dans une telle position, il se présente rarement un concours de circonstances assez favorables pour permettre une communication permanente entre l'intérieur du globe et l'atmosphère.

Le célèbre géologue Li de Buch fait remarquer que tous les volcans de la terre peuvent être rangés en deux classes essentiellement différentes: les *volcans centraux* et les *chaînes volcaniques*. Les premiers forment toujours le centre d'un grand nombre d'éruptions qui ont lieu autour d'eux, dans tous les sens, d'une manière presque régulière, tandis que les seconds sont ordinairement peu éloignés les uns des autres, mais alignés dans une même direction; « comme les cheminées d'une grande faille. » Et probablement, ajoute M. de Buch, ils ne sont rien autre chose.

Le nombre des volcans alignés varie beaucoup, ainsi que celui des volcans groupés au-

tonr d'un centre. Ils forment les uns et les autres des systèmes particuliers, qui présentent des phénomènes communs, sauf quelques exceptions locales. On pourrait, au besoin, considérer chaque système comme un seul volcan dont les bouches, plus ou moins nombreuses, s'alignent dans une même direction ou s'ouvrent tout autour d'un centre.

« En Europe et en Asie, autant que l'intérieur de ce dernier continent a été reconnu, aucun volcan actif n'est situé dans une chaîne de montagne. Tous, dit M. de Humboldt, en sont plus ou moins éloignés. Dans le Nouveau-Monde, au contraire (et ce fait mérite la plus grande attention), les volcans les plus imposants par leurs masses font partie des Cordillères mêmes. Les montagnes de schiste micacé et de gneiss du Pérou et de la Nouvelle-Grenade touchent immédiatement aux porphyres volcaniques des provinces de Quito et de Pasto. Au sud et au nord de ces contrées, dans le Chili et dans le royaume de Guatemala, les volcans sont groupés par rangées. Ils continuent, pour ainsi dire, la chaîne des roches primitives; et si le feu volcanique s'est fait jour dans une plaine éloignée des Cordillères, comme dans le Sangay et le Jorullo, on doit regarder ce phénomène comme une exception à la loi que la nature semble s'être imposée dans ces régions ¹. »

Un fait bien remarquable, c'est qu'il existe en Europe des volcans alignés comme ceux des Cordillères; ils sont communs dans toute la France centrale; mais ils sont éteints depuis longtemps, tandis que la plupart des volcans centraux y sont en activité. En Amérique, les volcans alignés brûlent encore, et peut-être offriront-ils par la suite, comme ceux d'Europe, des séries de volcans éteints; pendant que des volcans centraux et groupés comme l'Etna et le Vésuve prendront place parmi les montagnes ignivomes de ce nouveau continent, que l'intensité des forces encore agissantes pourrait nous permettre de considérer comme moins vieux que le nôtre, ou comme séparé par une croûte plus mince de la masse incandescente de la terre.

M. de Buch regarde les volcans alignés

comme sortant de grandes failles qui peuvent appartenir à une chaîne de montagnes sous-marines, et alors les volcans s'élèvent sous la forme d'îles régulièrement disposées, ou à une chaîne continentale au-dessus de laquelle ils forment les sommets les plus élevés. Ces deux sortes de volcans en série diffèrent peu les uns des autres dans leur composition et leurs produits. Ce sont, à peu d'exceptions près, des montagnes traéhytiques, et leurs produits divers participent plus ou moins de la nature de ces roches.

Mais si les matières qui cherchent à percer la croûte du globe ne rencontrent aucune faille qui puisse faciliter leur sortie, ou lorsque la résistance que les roches préexistantes opposent à la fracture est trop considérable, « l'action volcanique, ainsi comprimée en dessous de la croûte du globe, s'accroît et augmente d'intensité jusqu'à ce qu'elle soit capable de vaincre cette résistance et de briser les masses qui lui font obstacle. Il se forme alors une nouvelle fissure qui, lorsqu'elle est assez considérable, établit une communication permanente de l'intérieur de la terre avec l'extérieur. Il s'est produit alors un volcan central ². »

Prenant pour guide le beau travail géographique de M. de Buch et empruntant à M. Lyell quelques descriptions de détails, nous allons passer en revue très-succinctement les principaux volcans du globe, et donner une idée de quelques-unes de leurs éruptions.

Nous adopterons, dans cette revue, les divisions naturelles, proposées par M. de Buch et l'ordre dans lequel il a classé lui-même les volcans qui appartiennent à ces deux grandes séries.

BOUCHES VOLCANIQUES CENTRALES.

Etna. — Ce volcan, connu sous le nom de Mont-Gibel, est le plus remarquable des volcans centraux, par son étendue et sa hauteur. Sa forme est celle d'un dôme légèrement aplati au sommet. Il termine une chaîne de

¹ HUMBOLDT, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. I, p. 325.

² De Buch, *Description physique des îles Canaries*, suivies d'une indication des principaux volcans du globe, traduit par C. Boulanger, p. 325.

montagnes granitiques qui, de la Calabre, passe en Sicile, sépare Messine des Côtes-du-Nord et se termine à Taormina. De l'autre côté, on le croirait placé, dit M. de Buch, à l'extrémité d'une immense faille ou crevasse qui parcourt la Sicile du sud-ouest au nord-est. Les roches de l'Etna ont pour base le feldspath labrador et le pyroxène qui se mélangent dans des proportions différentes et constituent une sorte de dolérite. On n'y a jamais rencontré ni ponces ni obsidienne. Sur un des flancs de l'Etna existe une profonde vallée connue sous le nom de *Val-di-Rove*. M. de Buch la considère comme un affaissement du flanc du volcan, qui, quoique considérable, n'altère pas sensiblement sa forme. L'intérieur des couches, mis à découvert sur les escarpements, est traversé par une grande quantité de filons qui doivent vraisemblablement leur origine à des phénomènes volcaniques antérieurs à l'action du volcan même.

La force volcanique de l'Etna est telle que plusieurs coulées ont été élevées jusque dans le grand cratère et se sont épanchées par-dessus ses bords. D'autres éruptions, en grand nombre, se sont fait jour à la hauteur de plus de 9,000 pieds autour du dernier cône du volcan. Sans compter les nombreux monticules de cendres qui sont jetés sur différents points, il y a environ 80 cônes secondaires dont quelques-uns atteignent des dimensions considérables. Celui que l'on nomme *Minardo*, près de Bronte, atteint environ 700 pieds, et les Monti-Rossi, formés en 1669, près de Nicolosi, ont 450 pieds de hauteur et 2,000 de circonférence à leur base. Cependant ces cônes ne sont que de seconde grandeur parmi ceux qui ont été produits par l'Etna. Ils offrent tous une grande variété de formes, et il semblerait que la longue série des pays à cratères de l'Auvergne, aient été rassemblés et groupés sur le flanc du vaste cône qui nous occupe. On remarque cependant qu'ils ne forment pas une ceinture complète autour de la montagne à laquelle ils sont subordonnés; 52 sont à l'est ou au nord et 27 à l'est de l'Etna; il n'y en a pas vers les bords de la mer, dans les parties où la base de la montagne commence à se perdre. Les cônes d'éruption qui entourent Nicolosi, encore élevés de 2,286 pieds au-dessus de la surface de l'eau,

paraissent être les plus bas que l'on puisse citer autour de l'Etna. D'où l'on pourrait conclure que la masse solide de l'intérieur du volcan est encore assez forte pour opposer une résistance suffisante aux fluides élastiques, et que ceux-ci ne peuvent réussir à faire crever la montagne, pour donner une issue aux courants de lave, qu'à une hauteur déjà très-considérable.

Les observations de M. Gemellaro ont démontré que toutes ces éruptions de la partie moyenne de l'Etna ont lieu sur des fentes dont la direction prolongée irait passer par le centre du grand cratère, en sorte que le massif de l'Etna serait étoilé en différents sens, et les cônes parasites s'élèveraient sur ces fissures comme les cônes gigantesques de l'Amérique sur la crête des Andes.

L'Etna est considéré, depuis les temps les plus anciens, comme un volcan actif; cependant ses éruptions sont moins fréquentes que celles du Vésuve. Une des plus célèbres est celle de 1669. Un tremblement de terre venait de renverser la ville de Nicolosi, lorsque deux gouffres s'ouvrirent près de cette ville et lancèrent le sable et les scories en si grande quantité, que trois mois après les Monti-Rossi furent formés. Près de là, dans la plaine de Saint-Lio, se présenta en même temps un phénomène fort extraordinaire; une fissure de 6 pieds de large sur une profondeur inconnue, s'ouvrit avec un fort craquement et s'avança en serpentant jusqu'à un mille du sommet de l'Etna. Sa direction était du nord au sud et sa longueur d'environ 12 milles. Elle jetait une lumière très-vive. Cinq fissures parallèles et d'une longueur considérable s'ouvrirent ensuite l'une après l'autre, jetèrent de la fumée et firent entendre des mugissements qui se propagèrent jusqu'à la distance de 40 milles.

M. Lyell pense qu'on peut trouver dans la formation de ces fissures l'explication de ces filons ou dikes verticaux, si communs dans les masses de l'Etna et de plusieurs autres volcans; car la lumière jetée par la grande crevasse de Saint-Lio parait indiquer qu'elle était remplie, jusqu'à une certaine élévation, par de la lave incandescente; et probablement jusqu'à la hauteur d'un orifice qui s'ouvrit dans ce temps non loin des Monti-Rossi, et

vomit un torrent de lave. « Cette dernière atteignit bientôt un cône inférieur, appelé Mompilière, à la base duquel elle entra dans une grotte souterraine, communiquant avec une série de cavernes qui sont fréquentes dans les laves de l'Etna. Là, elle paraît avoir fondu quelques-uns des fondements voûtés de la colline; car elle fut légèrement déprimée et traversée par de nombreuses crevasses. La lave, après avoir inondé 14 villes et villages, arriva enfin aux murs de Catane; ceux-ci avaient été élevés dans le dessein de protéger la ville; mais le déluge brûlant s'accumula jusqu'à ce qu'il eut atteint le sommet du rempart, qui avait 60 pieds de haut; il se précipita ensuite en cascade enflammée et engloutit une partie de la ville. Le mur cependant ne fut pas renversé; il fut découvert longtemps après, en creusant le roc, par le prince Biscari, de sorte que le voyageur peut maintenant voir la lave solide bouillonner sur le haut du rempart, comme si elle tombait encore.

» Un habitant de Catane, nommé l'appalardo, désirant garantir la ville de l'approche de ce torrent menaçant, sortit avec 50 hommes qu'il avait habillés de peaux pour les garantir de la trop forte chaleur, et armés de leviers et de crochets, ils rompirent un des murs solides qui flanquait le courant près le Belpasso, et il en sortit aussitôt un petit ruisseau de matière en fusion, qui prit la direction de Paterno; mais les habitants de cette ville, alarmés pour leur sûreté, prirent les armes et arrêtèrent toute opération ultérieure.

» En 1766, un individu était monté sur une petite colline formée d'anciennes matières volcaniques, pour contempler l'approche lente et graduelle d'un torrent embrasé, de deux milles et demi de large, lorsque deux filets de matière liquide, sortant d'une crevasse, se détachèrent du courant principal et s'avancèrent rapidement vers la colline. Lui et son guide avaient à peine eu le temps de s'échapper, lorsqu'ils yrent la colline, qui avait 50 pieds de haut, entourée, et au bout d'un quart d'heure fondue dans la masse brûlante et coulant avec elle.

» En 1811, il paraît, d'après la relation de M. Gemellaro, qui fut témoin du phéno-

mène, que le grand cratère fit voir par ses violentes détonations, que la lave avait monté près du sommet de la montagne par son conduit central. Un choc violent se fit alors sentir, et un torrent sortit des flancs du cône, à peu de distance du sommet; peu après qu'il eut cessé de couler, un second courant se fit jour, mais beaucoup plus bas que le premier; ensuite un troisième, encore plus bas, et ainsi jusqu'à sept, qui étaient placés en dessous, en droite ligne. On a supposé que cette ligne était une fente perpendiculaire dans la charpente intérieure de la montagne, et que cette fente n'avait pas été formée tout à coup, mais avait été prolongée du haut en bas par la pression latérale et la chaleur intense de la colonne de lave intérieure, à mesure qu'elle diminuait par l'écoulement graduel qui avait lieu à chaque issue.

» En 1819, trois grandes bouches ou cavernes s'ouvrirent près de celles qui avaient été formées en 1811, et lancèrent avec de grandes explosions des flammes, des cendres rouges et du sable. Quelques minutes après, il s'ouvrit en dessous une autre bouche d'où sortirent des flammes et de la fumée, et finalement une cinquième d'où s'écoula un torrent de lave, qui se répandit sur la vallée del Bove. Ce courant parcourut deux milles dans les premières vingt-quatre heures, et presque autant dans le jour et la nuit qui suivirent. Les trois bouches se réunirent en un vaste cratère qui vomit de la lave ainsi que les quatre bouches inférieures, de sorte qu'un énorme torrent se répandit dans la vallée del Bove. Lorsqu'il arriva à un grand précipice presque perpendiculaire, à la tête de la vallée de Calannas, il se précipita en cascade, et se trouvant durci pendant sa chute, il produisait un craquement inouï à mesure qu'il veuait se briser au fond. Une colonne de poussière formée par la calcination de la colline tuflée sur laquelle la masse endurcie descendait, fit que les Cataniens furent grandement alarmés de la possibilité qu'une éruption plus violente que celle du sommet eût lieu dans la région boisée.

» Une effroyable éruption de l'Etna a eu lieu le 16 mai 1850. Sept bouches se sont ouvertes sur le penchant de la montagne; plusieurs villages, on en cite huit, qui jus-

qu'alors avaient toujours échappé aux ravages de la lave, ont été complètement détruits. Toutes les habitations ont disparu sous des monceaux de pierres calcinées et de cendres rougeâtres, projetées au loin dans les campagnes. Quoique d'épouvantables détonations eussent annoncé la catastrophe, les habitants étaient restés paisibles, rassurés par l'éloignement qui, jusqu'alors, les avait préservés d'un semblable désastre; aussi beaucoup d'hommes et de bestiaux ont-ils péri. Ce n'est qu'après l'expiration du huitième jour qui a suivi ce désastre, qu'on a pu s'approcher pour porter secours aux malheureux incendiés; mais les recherches que l'on a faites ont été infructueuses. Jamais calamité n'a été plus terrible, plus imprévue, plus générale.

« Les côtes de la Calabre et toutes les parties de l'Italie placées sous le vent qui soufflait dans cette nuit désastreuse, ont été couvertes d'une poussière rougeâtre, à peu près semblable à celle sous laquelle les terres voisines de l'Etna ont été ensevelies. On avait attribué comme une conséquence naturelle la présence de cette poussière à cette éruption; mais des lettres de Palerme donnent l'explication du second phénomène, observé d'ailleurs dans toute l'Italie. Comme elle était tombée en plus grande partie encore dans les districts méridionaux de la Sicile, et qu'elle avait été apportée par un vent du midi, elle ne pouvait pas provenir de l'éruption de l'Etna; et l'analyse qui en a été faite ne permet pas de l'assimiler aux cendres volcaniques. Une poussière semblable tomba en Sicile, dans les années 1807 et 1815, et l'on sut qu'à ces deux époques des ouragans terribles, soulevés dans les déserts de l'Afrique, avaient élevé des trombes de sable, qui, poussées par le Sirocco, et traversant la mer, étaient venues fondre sur la Sicile et l'Italie. Des rapports détaillés annoncent qu'une cavane entière a péri, vers le milieu de mai, enseveli sous des montagnes de sable, au Désert. Il est donc probable que la poussière rougeâtre tombée en Italie a été transportée des plaines de l'Afrique par un vent impétueux du S.-E. qui l'a poussée jusqu'à un delà de la Méditerranée ». »

« *Bulletin de la Société de Géographie*, t. XIII, n° 86, juin 1850, p. 307. »

Nous ne rapporterons pas un plus grand nombre d'exemples des éruptions de l'Etna. Les anciennes chroniques et les journaux scientifiques donnent des détails plus ou moins circonstanciés sur plus de 80 éruptions de ce gigantesque volcan. La plupart de ces éruptions se sont faites par les flancs; le nombre de celles qui sont sorties par le cratère est peu considérable. Cependant ce vaste sopirail a souvent changé de formes et de dimensions. Plusieurs fois le cône principal est tombé en dedans et s'est reformé. En 1444, il avait 520 pieds de haut, et il tomba après les tremblements de terre de 1537. En 1693, lorsqu'un violent tremblement de terre renversa toute la Sicile, et fit périr 60,000 personnes, le cône perdit une si grande partie de sa hauteur, dit Boccone, qu'on ne pouvait plus l'apercevoir de différents endroits du Valdemona, d'où on le voyait précédemment. Depuis lors le cône s'est élevé et abaissé plusieurs fois. Il était assez considérable en 1832, lorsqu'une violente secousse, qui arriva au mois de novembre, l'engloutit dans les abîmes intérieurs de la montagne; en sorte que le grand cratère ne présente qu'un amas de ruines et d'éboulements. Il y avait cependant en septembre 1834, lorsque M. de Beaumont visita l'Etna avec M. de Buch et plusieurs autres savants, un petit cratère actif, qui forme le point culminant de la montagne.

« Ce fut pour nous tous un moment de surprise assez difficile à dépeindre, dit M. Élie de Beaumont, quand nous nous trouvâmes à l'improviste, non au bord du grand cratère, mais au bord d'un gouffre presque circulaire, d'environ 80 à 100 mètres de diamètre, qui ne touche au grand cratère que par une petite partie de sa circonférence. Ce gouffre occupe exactement la place de la cime dont M. W. Smyth et M. John Herschell ont mesuré la hauteur. Nos regards plongeaient avidement dans cet entonnoir presque cylindrique, mais c'était en vain qu'ils y cherchaient le secret de la volcanicité : les assises à peu près horizontales, qui se dessinaient dans les escarpements presque verticaux, ne nous révélaient que la structure du cône supérieur. En cherchant à les compter les unes au-

» dessous des autres, on les voyait se perdre
 » peu à peu dans l'obscurité complète du
 » fond. Aucun bruit ne sortait de ce fond
 » ténébreux; il ne s'en exhalait que des va-
 » peurs blanchâtres, légèrement sulfureuses,
 » formées principalement de vapeur d'eau.
 » L'aspect lugubre de ce gouffre noir et silen-
 » cieux, dans lequel nos regards se perdaient;
 » ses flanes obscurs et humides, le long des-
 » quels serpentaient d'une manière languis-
 » sante et monotone de longs flocons de va-
 » peur d'une teinte grise et mélancolique; le
 » grand cratère auquel se rattache le gouffre
 » étroit, et dans lequel l'entassement confus
 » de matières diversement colorées en jaune,
 » en gris, en rouge, semblait l'image du
 » chaos; tout présentait autour de nous un
 » aspect funèbre et sépulcral. Le froid du
 » matin, secondé par un vent léger du N.-E.,
 » augmentait encore pour nous cette impres-
 » sion triste et sauvage *.

Iles Lipari. — Plusieurs îles volcaniques composent le groupe des Éoliennes. Il semble qu'il y ait là deux centres d'actions volcaniques, Volcano et Stromboli; mais ce dernier paraît plus actif, et peut être considéré comme le volcan central de ce groupe. La forme de son cône est régulière et bien déterminée; il s'élève beaucoup au-dessus des autres îles, et dégage continuellement des matières gazeuses, qui s'en échappent assez régulièrement tous les demi-quarts d'heure, et dont les accès n'éprouvent d'irrégularité que par l'influence de l'atmosphère. Ce volcan est connu de toute antiquité; ses fréquentes et brillantes éruptions lui ont fait donner le nom de *Phare de la Méditerranée*.

Les îles Lipari sont composées de trachytes ou de roches trachytiques diversement altérées par les phénomènes volcaniques. C'est toujours le feldspath qui en fait la base. On y trouve des obsidiennes remarquables que d'abondantes émissions de ponces ont très-probablement précédées. Stromboli est l'extrémité d'une chaîne ou faille trachytique, qui commence à Volcano et qui, à Lipari, se divise en deux branches, dont la plus occi-

dentale s'étend sur Salinas, Filicudi et Alicudi, et se termine à Ustica.

Selon M. Hoffmann, il paraît qu'il s'effectue dans l'intérieur du Stromboli un développement continu de substances gazeuses, qui s'accumulent lentement jusqu'à ce qu'elles soient en état de forcer la pression de l'atmosphère. Des gorges de blocs luisants et rouges et des masses fluides de laves qui débordent, suivent cette éruption gazeuse. On est surpris, dit M. de Bueh, de voir que la pression atmosphérique puisse exercer une si grande influence sur ces phénomènes; on doit l'être bien plus encore qu'une différence dans la hauteur du baromètre puisse être appréciée par la nature et la vitesse des ballons qui se dégagent de ce grand laboratoire intérieur. Mais, depuis des siècles, les marins ont jugé de la direction du vent d'après la violence et l'intensité des gerbes de feu que le volcan lance dans l'atmosphère. Le vent du sud-ouest, qui déprime la colonne barométrique, fait succéder les éruptions avec vitesse, et leur donne une ardeur qui surpasse de beaucoup ce qu'on observe, tant que les vents du côté du nord ou de l'est continuent à souffler. Ce fait est tellement connu des marins, que celui qui en douterait exhalerait autant de surprise que celui qui voudrait contester le plus simple des mouvements réguliers de la journée *.

Vésuve. — Le Vésuve est le seul volcan appartenant au continent européen, qui ait de véritables éruptions. C'est évidemment le volcan central autour duquel viennent se grouper tous ceux des Champs Phlégréens, quoique très-probablement ces petits volcans n'aient pas de rapport bien direct avec lui. La roche qui le compose, ainsi que celle du mont Somma, est évidemment pyroxénique, mais elle est caractérisée par la présence d'une grande quantité de leucite, dont les cristaux sont peu volumineux dans les laves du Vésuve, tandis qu'ils sont, au contraire, assez gros dans la roche de la Somma. Cette dernière montagne entoure en partie le Vésuve, et s'oppose par la puissance de ses assises redressées, à ce que la lave du volcan puisse la percer et se faire jour de ce côté, en sorte que les érup-

* ÉLIE DE BLAUMONT, Recherches sur l'Etna, *Annales des Mines*, troisième série, tome IX, page 196.

* L. DE BUEH, *Description des Canaries*, p. 355.

tions de lave ont toujours lieu du côté de la mer, où le même obstacle ne peut se faire sentir, parce que le Vésuve est né vraisemblablement sur l'échancrure que la Somma présentait de ce côté. Le cône du Vésuve a longtemps dominé la crête du mont Somma; mais loin d'augmenter et de s'élever par les éruptions diverses, qui se sont succédé, il s'est au contraire abaissé. Ainsi, autrefois, les bords du cratère, ceux du côté de la mer, comme ceux du côté de la Somma, s'élevaient à la même hauteur, et se trouvaient au niveau du *Rocca del Palo*, qui est la plus haute sommité actuelle de ce cratère. Chaque éruption a enlevé une portion de cette création qui, en 1834, se trouvait réduite à un seul pic de peu d'étendue, qui probablement disparaîtra à son tour, en sorte que la cime du Vésuve, d'abord plus haute que la crête de la Somma, s'abaissera au-dessous de son niveau. Sa hauteur actuelle, d'après M. Oltmans, est de 3,781 pieds. Saussure n'a presque pas trouvé de différence entre la hauteur des deux bords opposés du cratère. La différence n'est devenue sensible que depuis la grande éruption de 1794. Cette différence est à peu près de 492 pieds.

Il se forme assez souvent, dans l'intérieur des volcans, des cônes qui s'élèvent du fond des cratères, et qui servent de cheminée aux matières gazeuses et pulvérolentes. Un semblable cône se formait en 1822 dans le cratère du Vésuve, et s'éleva tellement que sa hauteur surpassait celle du Palo. Il s'écroula la même année au mois d'octobre, et ce ne fut que six ans après, en 1828, qu'on en vit paraître un autre, mais moins élevé, puisqu'il restait toujours de 158 pieds au-dessous de la cime du Palo. Ce cône, dit M. de Buch, était entouré par les murs du Palo, comme le Vésuve l'est lui-même par les escarpements de la Somma. Lors de la création de ce cône, il était sans ouverture, et il ne s'y est formé un cratère qu'un an après son apparition; tout a disparu pendant l'éruption de 1834.

Les parois du cratère du Vésuve offrent les traces d'un grand nombre de couches de lave, qui se sont ensuite écoulées en laissant une bande de matières fondues adhérentes aux scories. Quelquefois même des masses de lave se sont refroidies assez tranquille-

ment et assez horizontalement pour offrir, d'une manière très-régulière, les formes prismatiques qui caractérisent les basaltes.

On ignore l'époque des premières éruptions du Vésuve, et depuis les temps historiques on en compte un grand nombre. M. Huot, dans l'article Vésuve de l'*Encyclopédie méthodique*, en cite cinquante-trois jusqu'à l'année 1830, inclusivement. (Fig. XXVII bis.)

La première de ces éruptions, ou du moins la plus ancienne dont l'histoire ait conservé le souvenir, est celle de l'an 79, dont les détails sont connus par la lettre de Pliny le Jeune, dans laquelle il rapporte la mort de son oncle. Il parait qu'aucune coulée de lave n'est sortie du volcan à cette époque; mais le Vésuve répandit alors une immense quantité de matières pulvérolentes, sous lesquelles Herculanium et Pompeia furent ensevelies. M. de Buch pense que cette éruption est la première qui se soit faite sur le mont Somma, et que le Vésuve actuel n'est qu'un reste de cette première création qui s'écroule à chaque éruption nouvelle. Il croit qu'une partie du mont Somma fut alors brisée et dispersée par la force des émanations gazeuses, et que la couche de ponce qui, mêlée avec les produits de la Somma, couvre aujourd'hui la ville de Pompeia, provient de la croûte sous laquelle le volcan s'est fait jour et dont il a disséminé les fragments.

Il parait que les premières éruptions ne donnèrent que des matières pulvérolentes; mais en 1036 il sortit une coulée de lave sur laquelle est maintenant bâti le château royal de Portici. En 1500, le Vésuve lança encore des cendres en abondance; mais il parait qu'il resta dans un repos absolu jusqu'au 16 décembre 1631, époque à laquelle il se ralluma tout à coup. Le cratère, dit Bracini, avait alors 5 milles de circonférence, et environ mille pas de profondeur. Ses côtés étaient couverts de taillis, et au fond était une plaine sur laquelle paissait le bétail. Dans les parties boisées les sangliers faisaient leur demeure. Dans une partie de la plaine couverte de cendres, il y avait trois petits étangs: l'un rempli d'eau chaude et amère; un autre plein d'eau plus salée; et enfin, le troisième d'eau chaude, mais sans goût. Cependant à la fin, ces forêts, ces plaines tour-

beuses furent soudainement consumées et lancées en l'air, et leurs cendres jetées au vent. Sept torrents de lave coulèrent à la fois du cratère et submergèrent plusieurs villages; de grands déluges de boue furent aussi destructifs que la lave elle-même. Le 27 février 1750, le cratère du Vésuve s'était élevé, par l'abondance des matières, au point que son sommet était uni comme une plaine. Le 15 mai 1757, il sortit un courant de lave que F. Ferrao trouva de 1,479,896 toises cubes. Le 2 décembre 1754, des blocs de lave, de 12 pieds de diamètre, furent lancés par le cratère. L'éruption de 1766 dura neuf mois, et la lave forma un grand lac de matières fondues. L'aspect du cratère était remarquable; il offrait au centre une butte conique semblable à celles que nous avons déjà décrites. Elle ressemblait à une haute cheminée, de laquelle s'échappaient des gaz et des gerbes de scorées. De la base on voyait sortir des matières en fusion, qui se répandaient lentement sur le fond assez uni du véritable cratère. Hamilton, qui atteignit le sommet de ce monticule, dit qu'en y jetant de grosses pierres, on entendait qu'elles éprouvaient des obstacles, et que c'était après plus de cent ricochets qu'elles atteignaient le fond, ou du moins qu'elles s'arrêtaient. L'éruption de 1767 fut remarquable par la grande quantité de lave qui sortit du volcan, et le Vésuve, loin de diminuer de hauteur, s'éleva pendant cette éruption de 185 pieds. Le 20 octobre, la lave s'ouvrit une issue à cent pas au-dessous de l'ancien cratère. Dans la secousse du 29 juillet 1779, des colonnes de feu montèrent à une prodigieuse élévation. Un grand morceau du cratère s'écroula et fut ensuite dispersé dans les airs. M. de Buch assista à l'éruption de 1803, et il observa un courant qui parcourut en trois heures, une étendue de 7,000 mètres. Dans ces derniers temps, des éruptions eurent lieu en 1819, 1821, 1822, 1828 et 1830.

Islande. — Cette Ile, que l'on peut rapporter à l'Europe ou à l'Amérique, contient un grand nombre de bouches volcaniques, puisque Ebenezer Henderson en porte le nombre à vingt-neuf; mais elles ne sont pas toutes constamment ouvertes. Elles sont généralement situées sur une large bande trachytique,

qui traverse l'Ile du sud-ouest au nord-est; elle est sillonnée dans toutes les directions par d'immenses crevasses, et recouverte de masses de laves tellement étendues en longueur et en largeur, que l'on n'en trouve d'aussi considérables dans aucune contrée volcanique. Il n'y a cependant qu'un petit nombre de bouches volcaniques qui soient en communication permanente avec l'intérieur, et que l'on puisse considérer comme de véritables volcans. Telles sont, au nord, celles de Krabla, Leirhnukur, Trolladygur; au sud l'Hekla, Eyafiall et Kottigia; et enfin à l'est, Orofa Jockul.

Les laves de l'Islande contiennent du feldspath et pas de pyroxène. On y rencontre des ponces et des obsidiennes. La bande trachytique principale est d'une forme très-remarquable. Ses bords de part et d'autre sont formés de dômes arrondis, trachytiques, qui suivent tous la direction générale, et qui se maintiennent à une hauteur de 3,000 pieds d'une mer à l'autre. On pourrait les regarder, dit M. Krug de Nidda, comme formant deux immenses bourrelets qui encaissent une vallée profonde au milieu; en s'élevant à des considérations d'un autre ordre, on peut se représenter cette bande comme une immense voûte de trachyte, analogue à la vallée de Quito, qui aurait percé les couches de basalte et d'amygdaloïde, mais dont la partie moyenne trop élargie s'est affaissée sur elle-même et est retombée dans l'abîme. C'est précisément à cette vallée du milieu que se trouvent limités tous les phénomènes d'une action volcanique continue; c'est là qu'on rencontre les fontaines d'eau bouillante, le Geiser, le Strook, etc. C'est là qu'on trouve le solfatares, les sources acidules, les dépôts de soufre. Rien de tout ceci n'est visible du côté basaltique des bourrelets, et moins encore dans la partie basaltique même. Plusieurs de ces dômes de trachyte peuvent être regardés comme des cheminées par lesquelles une communication de l'intérieur avec l'atmosphère est constamment maintenue. Tels sont l'Oestre Jockul ou Eyafiall, dont la belle forme en cloche frappe tous les observateurs, et suffirait seule pour réfuter l'opinion qu'un pareil volcan pourrait être le résultat de l'accumulation de courants de lave superposés; le Katlogiau,

connu par ses éruptions en 1755; le Sida Jockul, enfin, l'Örofa Jockul, la plus haute montagne qu'on ait observée. Tous ces volcans se trouvent à peu près dans le même alignement, qui est celui de toute la bande elle-même, et tous sont situés vers son bord oriental. Dans le nord, on trouve principalement le Krabla et le Leirhnukn, qu'on doit regarder comme des communications permanentes, par conséquent comme de vrais volcans et non comme des éruptions particulières. La plupart de ces volcans n'ont jamais rejeté de courants de lave, non plus que les cratères des volcans des Andes; ces laves sortent presque constamment au pied du volcan, et jamais elles ne se font jour à plusieurs reprises par la même ouverture. Mais ces courants peuvent toujours être rattachés à quelque volcan connu, ou à quelque dôme trachytique, d'où leurs cratères d'éruption émanent comme d'un centre. En effet, les éruptions de lave d'Islande se font ordinairement par des bouches volcaniques semblables à la série des petits cratères qui se sont élevés en 1750 dans l'île de Lancerote. Ces cratères s'ouvrent l'un après l'autre sur un même alignement, au pied des montagnes et dans les vallées, et vomissent une immense quantité de matière fluide, qui s'étend sur la plaine. Ces monticules ne s'élèvent que de quelques centaines de pieds, et restent sans action après que l'éruption s'est terminée. Or, M. Krug fait voir que leur direction passe toujours par le centre du volcan dont on peut croire qu'ils dépendent. C'est ainsi que quelques centaines de monticules qui ont ravagé par leurs laves la presqu'île de Reikianas, se dirigent vers le majestueux dôme trachytique du Skjaldbreid, qui domine les solfatares et les sources jaillissantes de Skalbolt; c'est ainsi que toutes les éruptions autour du Sneffells Jockul, éruptions qui s'étendent à plus de dix lieues vers l'orient, se dirigent toujours vers cette haute montagne, et c'est encore la direction des cratères d'éruption et des phénomènes volcaniques autour de l'Öestre Jockul dont l'Hékla même ne paraît être qu'une dépendance. C'est le même phénomène sur une grande échelle que celui des monticules qui s'élèvent sur les crevasses dont la direction passe toujours par le centre du volcan, phénomène qu'on observe avec

une si grande facilité à chaque éruption autour du Vésuve et de l'Etna.¹

Les éruptions des volcans de l'Islande intéressent à un haut degré les géologues par leur intensité et par l'immense volume de lave, que quelques-uns ont produit; elles ont été aussi bien fréquentes, car leur histoire remonte au ix^e siècle, et depuis le commencement du xiv^e, dit M. Lyell², il est démontré qu'il n'y eut jamais un intervalle de plus de 40 ans, et très-rarement un de 20 ans, sans une éruption ou un tremblement de terre. L'énergie de l'action volcanique dans ce pays est si considérable, que quelques éruptions de l'Hékla ont duré jusqu'à six ans sans interruption. Des tremblements de terre ont souvent remué l'île tout entière, causant de grands changements dans l'intérieur, tels que l'abandon de leurs lits par les rivières et la formation de nouveaux lacs, l'abaissement des collines et le déchirement des montagnes; de nouvelles îles ont été souvent produites le long de la côte, dont quelques-unes existent encore, et les autres ont disparu, soit par leur affaissement, soit par l'action des vagues.

« Dans les intervalles des éruptions, de nombreuses sources chaudes fournissent une issue à la chaleur souterraine, et des solfatares donnent passage à des ruisseaux abondants de matière inflammable. On observe que les volcans, dans différentes parties de l'île, sont comme ceux des Champs Phlégréens, en activité chacun à leur tour, une issue servant de soupape de sûreté aux autres. Un grand nombre de cônes sont quelquefois produits dans une éruption, et dans ce cas, ils suivent une direction linéaire, courant généralement du nord-est au sud-ouest, dans la partie nord-est de l'île, où est le volcan de Krabla, au cap de Reikianas.

« L'éruption de 1785 paraît avoir été plus terrible que toutes celles qui sont rapportées dans les annales modernes de l'Islande, et la narration danoise originale de cette catastrophe, dressée avec de grands détails, a été depuis vérifiée par plusieurs voyageurs anglais, particulièrement quant à l'étendue du pays ruiné, et relativement au volume qu'at-

¹ De Bock, *Description physique des îles Canaries*, p. 555.

² *Principles of Geology*, t. I, p. 426 et suiv.

teignit la lave. Environ un mois avant l'éruption sur la grande terre, un volcan sous-marin éclata dans la mer à environ 30 à 40 milles au sud-ouest du cap Reikianas, et jeta tant de poncees que l'Océan en fut couvert à plus de 150 milles, et que la marche des vaisseaux en était retardée. Une nouvelle île fut lancée; elle consistait en hautes falaises du milieu desquelles le feu, la fumée et la ponce sortaient par deux ou trois points différents. Cette île fut réclamée par le roi de Danemark, qui la nomma Nyoe ou la nouvelle île; mais avant qu'une année fut écoulée, la mer avait repris son ancien empire, et il ne restait de l'île qu'un amas de roches, sur lequel il y avait de 5 à 30 brasses d'eau. Les tremblements de terre, qui avaient été longtemps sentis en Islande, devinrent violents le 11 juin, et Skaptar-Jockul, distant d'environ 200 milles de Nyoe, vomit un torrent de lave qui coula dans la rivière Skapta et la dessécha complètement. Le lit de cette rivière est entre de hautes roches, qui dans beaucoup d'endroits ont de 4 à 600 pieds de haut et près de 200 pieds de large.

» Non-seulement la lave remplit ces grands défilés jusqu'au bord, mais elle inonda les champs voisins sur une étendue considérable. Le flot brûlant, en sortant de cette gorge resserrée, fut arrêté pendant quelque temps par un lac profond qui existait dans cette rivière, entre Skaptardal et Aa, et qu'il remplit entièrement. Le courant continua ensuite, et atteignant d'anciennes laves pleines de cavernes souterraines, il y pénétra et en fondit une partie; dans quelques endroits où la vapeur ne trouva pas d'issue, elle fit sauter le roc et en lança les fragments jusqu'à 150 pieds de hauteur. Le 18 juin, un autre jet de lave liquide s'élança du volcan et descendit avec une vélocité étonnante sur la surface du premier courant. Par la formation des embouchures de quelques-uns des affluents de la Skapta, plusieurs villages furent complètement inondés; la lave, après avoir coulé plusieurs jours, se précipita du haut d'une effroyable cataracte, appelée Stapafofs; elle remplit l'abîme profond que cette grande chute d'eau creusait depuis des siècles, et reprit ensuite son cours.

» Le 3 août, de nouveaux torrents de lave,

sortant toujours du volcan par une nouvelle branche, prirent une autre direction; car le lit de la Skapta, était si complètement rempli, et toutes les ouvertures au nord et à l'ouest si bien fermées, que la matière fondue fut forcée de prendre une autre route, et courant au sud-ouest, elle vint se jeter dans le lit de la rivière Ilverfisliot, et y occasionna une scène de destruction à peine inférieure à la première. Ces laves d'Islande, comme les anciens courants que l'on rencontre en Auvergne, et dans d'autres parties de la France centrale, sont mentionnées par Staphseusen comme s'étant accumulées à une profondeur prodigieuse dans les gorges étroites de rochers; mais lorsqu'elles arrivèrent aux plaines alluviales, elles se répandirent en grands lacs de feu, quelquefois de 12 à 18 milles de large, sur 100 pieds de profondeur.

» Lorsque le lac brûlant qui avait comblé la vallée inférieure de la Skapta eut été augmenté par de nouveaux renforts, la lave remonta la rivière jusqu'au pied des collines où elle prend sa source. Ceci fournit un cas semblable à celui que l'on peut présenter comme étant arrivé à une époque reculée dans la région du Vivarais en France, lorsqu'un courant de lave sortit du cône de Tueys, et que, tandis qu'une de ses branches descendait, l'autre, plus puissante, remontait l'Ardèche. Les côtés de la vallée de Skapta présentent des rangées superbes de colonnes basaltiques, et de laves plus anciennes, ressemblant à celles qui sont à découvert dans les vallées qui descendent du Mont-Dore, en Auvergne, où des courants de laves plus modernes, et sur une échelle bien inférieure en grandeur à ceux d'Islande, ont aussi envahi le lit des rivières existantes. L'éruption de Skaptar-Jockul ne cessa entièrement qu'au bout de deux ans; et lorsque M. Paulson visita ce canton, en 1774, il trouva que des colonnes de fumée s'élevaient encore de diverses parties de la base et des fentes.

Quoique la population de l'Islande n'excède pas 50,000 âmes, il n'y eut pas moins de vingt villages de détruits, non compris ceux qui furent inondés; une immense quantité de bétail et plus de 9,000 personnes périrent en partie par l'effet de la lave, d'autres par les vapeurs dangereuses dont l'air était im-

prégné, et enfin par la famine que causa la chute des cendres dans toute l'île, et la fuite des poissons de ses parages.

» Le volume de la matière fondue, produite dans cette éruption est réellement remarquable. Des deux branches qui coulèrent dans des directions presque opposées, la plus grande avait 30 milles, et la plus petite 40 de longueur; la plus grande largeur que la branche de la Skapta ait atteinte dans les pays plats, était de 15 à 16 milles; celle de l'autre était de 7 milles. La hauteur ordinaire des deux conrants était de 100 pieds; mais dans les défilés étroits elle allait jusqu'à 600.

Iles Açores. — Les Açores sont des îles trachytiques, dont le volcan central paraît être le Pico, situé dans l'île du même nom. Cette île est allongée du sud-est au nord-ouest, et il en est de même de toutes les autres îles, St.-Georges, St.-Michaël, Terceira, et ce qu'il y a de plus remarquable, c'est que toutes ces îles jusqu'à Flores et Cerve, sont situées l'une derrière l'autre, exactement dans cette même direction. « On ne peut s'empêcher de reconnaître, dit M. de Buch, dans cette disposition, une bande volcanique, analogue à celle qui traverse l'Islande, une sorte d'immense faille remplie par des roches en partie cachées dans la profondeur des mers. »

Plusieurs éruptions remarquables ont eu lieu dans l'île de Pico. Plusieurs îles ont apparu autour de celle de St.-Michaël, qui est elle-même extrêmement curieuse par la variété des phénomènes volcaniques qui se sont développés à sa surface.

Iles Canaries. — Ces îles sont célèbres par le pic de Ténériffe et par les observations remarquables que M. L. de Buch a publiées sur leur constitution. Ce savant y a reconnu que les petits cratères de soulèvement des îles les plus considérables, celles de la Gran-Canaria, de Ténériffe et de Palma, se trouvent exactement placées dans la même direction, sur une ligne qui, à la surface de la terre, s'étend du sud-est au sud-ouest. Cette disposition paraît à M. de Buch le résultat d'une action intérieure, qu'il regarde comme celle qui a déterminé la sortie des trachytes dont est formé le pic de Teyde lui-même, l'intérieur de la Caldera de Palma et la montagne de la Gran-Canaria. Les îles de

Lancerote et de Fuerta-Ventura, qui se trouvent dans une toute autre direction, ne présentent aucune trace de trachyte.

Iles du Cap Vert. — L'île de Fuogo, quoique très-petite, contient un volcan très-élevé, auquel se rattachent peut-être quelques-unes des îles voisines; mais on n'a pas de données positives sur ce sujet.

Iles Gallapagos. — Elles forment un groupe très-remarquable de volcans en activité; l'île la plus occidentale, celle de Narborough-Island, est probablement, suivant M. de Buch, le volcan principal.

Iles Sandwich. — Il existe dans la plus considérable de ces îles, Owaibi, une montagne, le Mowna-Wororay, qui paraît être le volcan central. À partir de ce point, les autres îles s'étendent et s'abaissent dans la direction du nord-ouest.

Le Mowna-Roa est une autre montagne de la même île, qui paraît être formée par un dôme trachytique comme le Chimborazo. Sa hauteur est plus grande que celle du pic de Ténériffe. M. Douglas, qui, le 29 janvier 1834, est parvenu à atteindre le sommet de cette montagne, a trouvé un dôme tellement étendu que du milieu on ne voit point d'autre horizon que celui qui est formé par les bords du dôme lui-même. On observe cependant, du côté de l'est, un cratère considérable situé un peu au-dessous du point culminant. Indépendamment de ce cratère, il en existe un autre à la base, nommé Kiraneah. C'est une solfatare immense de 15 à 16 milles anglais de pourtour. On distingue dans ce cratère plusieurs étages, dont les plus inférieurs sont dans un état surprenant d'activité; en y voit une grande quantité de petits cônes rejeter des vapeurs aqueuses et sulfureuses, et souvent les flancs du cratère s'entr'ouvrent et donnent passage à des coulées de lave qui s'en échappent et coulent vers l'intérieur. C'est ainsi que M. David Douglas trouva, qu'au mois de juin 1832, une éruption s'était faite au même endroit où, en juin 1825, lord Byron avait dressé ses tentes. La lave s'était écoulée pendant trois jours de suite de l'orifice qu'elle s'était ouvert, et avait comblé en partie les cratères inférieurs. M. Douglas vit

¹ *Journal of the Geography Society*, 1834, t. IV, p. 333.

dans le fond une lave en ébullition et tellement en mouvement vers le sud, que sa vitesse était de trois milles et un quart par heure, quoiqu'il fût tout à fait impossible de reconnaître par où cette lave pouvait s'écouler avec tant d'impétuosité. Cet endroit remarquable est élevé de 3,634 pieds de Paris au-dessus de la mer, la profondeur du cratère est de 1,010 pieds, mais le lac de lave en ébullition était encore à quarante pieds plus bas. M. Douglas a pris la latitude de ce point; elle est de 19° 25' 42". Il raconte qu'une éruption violente de cendres et de vapeurs, qui eut lieu par ce cratère en 1787, avait fait périr 3,405 personnes qui s'étaient obstinées à traverser la contrée du côté où les vents alizés devaient nécessairement emporter ces matières.

Iles Marquises et îles de la Société. — On a peu de renseignements positifs sur ces îles, qui sont bien évidemment volcaniques. On sait que celle d'Otaïti a un volcan permanent d'une hauteur considérable, puisqu'elle dépasse celle de l'Etna.

Iles des Amis. — Le volcan isolé de Tofna, qui peut s'élever à 3,000 pieds, paraît être continuellement en éruption comme le Stromboli.

Ile Bourbon. — Cette île, qui ne fait partie d'aucun groupe, contient un volcan très-actif dans sa partie orientale. Ce volcan est un des plus considérables de tous ceux qu'on observe à la surface du globe. M. Hubert rapporte que, depuis 1783, année où il a commencé à observer ses éruptions, jusqu'en 1801, il est sorti chaque année au moins deux courants de lave des flancs de la montagne, et huit de ces coulées se sont étendues jusqu'à la mer. Chaque éruption de lave dans les parties inférieures du volcan est suivie d'une éruption qui s'effectue un peu plus tard par le cratère situé au sommet de la montagne*. Les coulées sortent rarement de ce cratère supérieur, et même, dans ce cas, elles sont généralement d'une étendue peu considérable. Sans doute, la lave, en s'accumulant dans les parties élevées du volcan, agit par sa pression sur les orifices ouverts à la base, par lesquels s'effectuent alors les éruptions.

* Bory, t. I, p. 320.

* *Idem*, p. 250.

VOLCANS DANS L'INTÉRIEUR DES CONTINENTS.

Il existe en Chine des volcans très-éloignés de nous, et qui cependant ont une certaine activité. Tel est le Pé-Chan, ou montagne d'ammoniac, entre Koutche et Korgos, volcan qui vomissait des torrents de lave, au centre de l'Asie, à 300 lieues géographiques, à 13 par degré, de la mer Caspienne à l'ouest, à 275 de la mer Glaciale au nord, à 405 du Grand-Océan à l'est, à 530 de la mer des Indes au sud.

M. de Humboldt cite aussi le Djebel Koldaghi, montagne conique et fumante du Kordofan, dont on entretint M. Ruppel à Dongola. Il est à 112 lieues de la mer Rouge, et cette distance n'est que le tiers de celle à laquelle le Pé-Chan, qui, depuis 1700 ans, a vomé des torrents de lave, se trouve de la mer des Indes.

M. de Bueh considère encore comme étant probablement volcaniques :

Le Demavend, qui paraît être le point culminant de la chaîne de l'Elburs, entre la mer Caspienne et la plaine de Perse. Olivier dit qu'il sort de la fumée du sommet.

Le mont *Ararat*, qui peut-être n'est qu'un dôme trachytique non percé.

Le *Seiban-Dagh*, à l'extrémité nord du lac Van en Perse.

Les montagnes de la Tartarie à l'ouest de la Chine, et les montagnes qui dégagent du sel ammoniac, dans la Sibérie, à Chatanga, dans la partie septentrionale du cours du Jenisey.

CHAÎNES VOLCANIQUES.

Selon M. de Bueh, tous les volcans centraux s'élèvent au milieu d'une enceinte basaltique, et leurs cônes sont entièrement formés de trachyte, tandis que les volcans en chaînes que nous allons passer en revue s'élèvent immédiatement de la crête des montagnes de granite ou d'autres roches cristallisées, ou quelquefois de leur base.

Iles de la Grèce. — Ce sont les seules îles de l'Europe qui ne fassent pas partie des volcans centraux. Elles constituent des chaînes véritables, qui ont dû paraître à la même époque et simultanément au-dessus de la surface des eaux. Mais, jusqu'à présent, elles ne

sont, pour ainsi dire, que le résultat des efforts effectués dans l'intérieur pour produire de véritables volcans ; car ceux-ci ne se sont pas encore ouverts d'une manière durable. « Les îles grecques ne sont pas dispersées isolément dans la mer, elles ne sont pas non plus rassemblées en un groupe ; elles paraissent, au contraire, participer entièrement de la nature des écueils de la Suède et de la Norvège. Les chaînes des montagnes qui traversent le continent se dirigent sur ces îles dans le même sens, et avec la même nature de roches, jusque dans les parties les plus éloignées, et alors même que ces parties ne peuvent plus s'élever au-dessus de la surface de la mer pour former des îles. Les îles ont, d'après cela, absolument la même constitution géologique que le continent de la Grèce. »

Toutes ces îles sont formées de trachyte brun. Elles n'offrent pas de cratères, mais tout au plus de simples crevasses, comme celles de la petite Kamenî. Elles manquent entièrement de basalte, ce qui suffirait, d'après les idées de M. de Buch, pour faire voir qu'elles se distinguent évidemment des volcans centraux.

Chaîne située à l'ouest de l'Australie. —

« La Nouvelle-Zélande, la Nouvelle-Calédonie, les Nouvelles-Hébrides, les îles Salomon et de la Louisiade, jusqu'à la Nouvelle-Guinée, et cette grande île elle-même jusqu'aux Moluques, appartiennent à la même chaîne, et ces relations de toutes ces îles deviennent surtout plus frappantes, quand on remarque que la courbe formée par cette chaîne reproduit presque exactement, sur un très-long espace, la configuration de la côte de la Nouvelle-Galles du Sud. »

M. de Buch décrit les principaux volcans de cette chaîne, qui se rattache à l'ouest de la Nouvelle-Guinée, avec deux autres chaînes extrêmement remarquables, qui se réunissent à elle en formant une sorte de nœud. Ce sont les chaînes des volcans des îles de la Sonde à l'ouest, et celle des volcans des îles Philippines et des Moluques au nord. Ces deux séries de volcans suivent la limite extérieure du continent de l'Asie, avec beaucoup plus d'exactitude encore que la chaîne précédente ne suivait les côtes de la Nouvelle-Hollande.

Les innombrables volcans des îles de la Sonde s'étendent jusqu'aux îles les plus éloi-

gnées de Sumatra et de Java, et se perdent dans le golfe du Bengale, dans les parties où le continent voisin devient plus considérable et moins déchiqueté. De la même manière, la chaîne des Moluques et des Philippines s'étend vers le Japon, et entoure le continent de l'Asie du côté de l'est.

Au contraire, au milieu de ces îles nombreuses, qui peuplent la mer de la Chine, on ne trouve qu'à très-rarement des traces de phénomènes volcaniques, et les volcans eux-mêmes y sont presque complètement inconnus.

L'immense masse oxidée, qui forme le continent de l'Asie, empêche toute communication de l'intérieur avec l'atmosphère, mais cette communication a pu s'ouvrir sur les bords du continent, en formant une faille considérable, qui l'entoure, et sur laquelle se sont ouverts des volcans qui servent de canaux pour l'établir.

Chaîne des îles de la Sonde. — Un grand nombre de points actifs se font remarquer sur cette chaîne. Un des plus remarquables est le Wawani, dans l'île d'Amboine. Son cratère contenait depuis longtemps des matières qui bouillonnaient comme dans une immense chaudière, lorsqu'en 1674 un tremblement de terre ébranla le cône volcanique, et la lave, s'échappant par deux ouvertures, ruissela presque dans la mer. Une grande étendue de ce pays en fut couverte. Le roi d'un village situé dans l'intérieur de l'île, avait tenté peu de temps auparavant une attaque contre les villages de Wawani et d'Essen, situés plus bas, et avait été repoussé avec beaucoup de peine. L'éruption volcanique détruisit le village supérieur et fit périr tous les habitants. Ce désastre, qu'on apercevait des parties inférieures, par une sorte d'échancrure de la montagne, vint délivrer ses habitants de la crainte de voir se renouveler les tentatives de leurs ennemis. Depuis lors, ce volcan a eu de fréquentes éruptions.

Le volcan de Gongung-Api dans l'île de Banda, n'est presque jamais en repos. En 1613, il eut une si violente éruption, que les bâtiments de la flotte du gouverneur d'Amboine eurent beaucoup de peine à gagner Neira à travers la grêle de pierres ponce qu'il lança à cette époque. Plusieurs autres

secousses se sont fait sentir depuis. En 1820¹, une grande baie sur la côte occidentale de Banda, se trouva transformée, malgré sa profondeur de 60 brasses, en un terrain soulevé et couvert de collines. Les îles situées entre Banda et Java contiennent aussi un certain nombre de volcans actifs; mais cette dernière est très-remarquable par l'intensité des phénomènes volcaniques qui s'y manifestent. Les bouches volcaniques sont très-nombreuses et situées, dans la direction même de l'île, sur une faille isolée et un peu oblique, qui ne se continue pas sous les eaux. L'action volcanique parait ici s'exercer tellement près de la surface, que très-souvent les matières ne suivent pas, pour se répandre au dehors, leur route habituelle, et se frayent un passage par de nouvelles montagnes. Il est, par conséquent, extrêmement difficile, sans l'attention la plus scrupuleuse, de reconnaître et de distinguer les simples orifices d'éruption des canaux permanents qui établissent la communication de l'intérieur avec l'atmosphère.

L'île de Java n'offre que des calcaires et des basaltes; le trachyte y est très-rare; à peine observe-t-on aussi de l'obsidienne. M. Reinwardts, qui a étudié cette île avec beaucoup de soin, dit expressément que l'on n'a jamais eu d'exemple que l'éruption la plus violente et la plus dévastatrice ait été accompagnée de lave, ce qu'on ne peut attribuer, comme dans les Andes, à la hauteur des cônes volcaniques, puisqu'ils ne dépassent pas 6,000 pieds.

« Le volcan le plus oriental de l'île de Java est le *Taschem* (d'après Raffles); cette montagne a été décrite par le célèbre naturaliste M. Leschenault, qui accompagnait Baudin dans son voyage de découvertes ². Ce volcan s'élève à une distance de 12 lieues au sud de Panarukan, dans la province de Banya-Vagni; il a environ 6,000 pieds de hauteur; son cratère, dont les flancs sont, en beaucoup de points, presque verticaux, et dont Leschenault a dessiné une vue, a 400 pieds de profondeur; son diamètre inférieur est de 3,000 pieds, son diamètre supérieur, environ la moitié de ce nombre. Les rochers qui forment l'enceinte du cratère sont dentelés et

très-blancs : le fond du cratère est occupé par un lac d'acide sulfurique, qui peut avoir environ 1200 pieds de longueur. L'eau de ce lac s'écoule par le Songi Pahete (rivière acide), jusqu'au Songi Poutiou (rivière blanche), et se réunit à cette dernière; elle se jette dans la mer un peu vers le nord. Cet acide sulfurique s'oppose au développement de la vie animale partout où il passe, et ce n'est que fort au-dessous du confluent de la rivière acide que les poissons peuvent exister. Leschenault a observé une lave qui provenait de ce cratère, et Horsfield rapporte que la dernière éruption de ce volcan eut lieu en 1796. Leschenault lui avait donné le nom de mont Idienne, et Horsfield, adoptant la même dénomination, l'avait désigné par celui de Idjengsche Geberte ³.

« Quand M. Reinwardts visita, en 1821, le volcan d'Idjen, il le trouva fort différent de celui que M. Leschenault avait décrit. Une éruption qui eut lieu en 1817 avait inondé d'eaux acidulées toute la contrée environnante, et la végétation y avait été complètement détruite par l'effet corrodant et pernicieux de ces eaux. Le fond d'un immense cratère était occupé par des eaux dont la surface était perpétuellement agitée par le dégagement de nombreuses fumaroles de soufre. Les crevasses des bords du cratère laissaient apercevoir des flammes rougeâtres, qui en sortaient en quelques endroits. Mais cet immense cratère n'était ni celui que M. Leschenault avait observé, ni celui d'où les eaux dévastatrices s'étaient répandues dans les environs : ce dernier était complètement à sec et presque comblé.

« Entre l'Ungarang et le Tegal, près du mont Sindoro, se trouve un cratère, une solfatare éteinte, nommée *Gueco Upas* ou *Val-lée du poison*. Elle est située à 3 milles de Batur, sur la route de Djung, et est un objet de crainte et de terreur pour les habitants de la contrée; tout être vivant qui pénètre dans cette vallée, y est asphyxié et tombe mort sur-le-champ. Le sol est couvert de carcasses de tigres, de chevreuils, de cerfs, d'oiseaux, et même d'ossements d'êtres humains, frappés de mort dans ce triste et terrible endroit. Ce

¹ *Annales gén. des Sc. physiques*, v. 7, p. 316.

² *Annales du Muséum*, t. XVIII, p. 425.

³ *Datar. Soc.*, 1854, t. VII.

développement si abondant de gaz acide carbonique est un des phénomènes les plus dignes d'attention. »

M. de Buch cite encore comme un des points les plus remarquables de cette île le *Talaga Bodas*, volcan dont le cratère est occupé par un lac de 2,000 pieds de diamètre. Un mélange de vapeur d'eau et de soufre, qui se dégage continuellement des environs, dissout une partie de la roche basaltique et la change en une argile blanche très-friable. Au nord-ouest de la même montagne, s'opèrent de semblables dégagements, au milieu d'une solfatare qui est envahie de tigres, d'oiseaux et d'une immense quantité d'insectes. Les muscles, les poils, la peau, enfin toutes les parties molles de ces animaux sont parfaitement conservées, tandis que les os des oiseaux et des quadrupèdes sont entièrement dissous et disparaissent.

Le Galung-Gung est aussi un point d'éruption fort instructif, dont l'étude peut se rattacher à celle de la théorie générale des volcans. « Déjà pendant le courant du mois de juin 1822, les eaux de la rivière *Chikunir*, qui descend de la montagne alors très-cultivée et peuplée, s'étaient troublées; elles déposaient une poudre blanche, exhalaient une odeur sulfureuse, devenaient acides et commençaient à s'échauffer considérablement, trahissant ainsi le grand mouvement de dissolution qui se développait dans l'intérieur. Le 8 d'octobre, à une heure après-midi, des mugissements horribles se firent entendre; la montagne se couvrit immédiatement d'une fumée épaisse, et des eaux chaudes, sulfureuses et limonneuses, se précipitèrent de tous côtés sur ses flancs, en dévastant et emportant tout ce qu'elles rencontraient sur leur passage. On vit avec étonnement, à *Badang*, la rivière de *Chiculan* charrier vers la mer un nombre immense de cadavres d'hommes, de bestiaux, de rhinocéros, de tigres, de cerfs, et même jusqu'à des maisons entières. Cette éruption d'eau chaude limonneuse continua pendant deux heures qui suffirent pour consumer la ruine et la dévastation de toute une province. A trois heures, elle avait cessé, mais il tomba alors une pluie épaisse de cendres et de rapilles qui achevèrent de brûler les champs et les arbres épargnés jusqu'alors. A cinq

heures, la tranquillité était parfaitement rétablie, et la montagne se découvrit; mais ce peu de temps avait suffi pour couvrir de limon tous les villages, toutes les habitations, jusqu'à plusieurs lieues de distance. Le 12 d'octobre, à sept heures du soir, ces horribles phénomènes se renouvelèrent. Un tremblement de terre général fut suivi par une éruption dont on entendit le bruit pendant toute la nuit. De nouveaux torrents d'une eau boueuse et chargée de limon, se précipitant vers la vallée, entraînèrent avec eux des rochers et des forêts entières, de manière que des collines furent élevées dans des parties où peu de moments auparavant, il n'y avait qu'une plaine. Il fut bientôt impossible de reconnaître cette vallée, auparavant si fertile et si peuplée. Tous les habitants, sans pouvoir seulement songer à la fuite, furent enterrés sous ces limons, et l'on pense que pendant cette nuit plus de deux mille personnes ont perdu la vie dans le seul district de *Singaparna*, au nord de cette terrible montagne. Le volcan avait considérablement changé de forme pendant ce laps de temps; il avait diminué de hauteur, et était tronqué; depuis cette éruption, il resta en mouvement; il fumait encore le 12 novembre, et lançait en l'air des nuées de vapeurs. M. Payen, naturaliste et peintre, qui s'approcha de la montagne peu de jours après l'éruption, et qui l'a décrite dans une lettre à M. Reinwardt, ne put avancer vers le volcan. Le limon et des crevasses nombreuses l'en empêchèrent, et les mêmes difficultés se représentèrent pendant tout le mois de novembre¹. M. Blume, botaniste, a examiné sur les lieux ce limon dévastateur. Il était d'une couleur brune jaunâtre, terreux, friable, exhalait une odeur sulfureuse, et brûlait sans difficulté. Il n'y a point de doute qu'il ne fût en grande partie composé de soufre. Les Malais nomment ce limon *Buah*, c'est-à-dire pâte, et il est évident que cette matière est analogue à la *Naja* de Quito, qui, en 1798, couvrit la malheureuse ville de Rio-Bamba.

Il semble donc que l'effet de l'action volcanique dans l'île de Java serait de développer en même temps une immense quantité de

¹ BOER MECH, p. 47.

vapeurs sulfureuses et aqueuses qui, s'emparant de la roche dont l'intérieur de la montagne est formé, la décompose jusqu'à en faire une pâte, un *Buah*, et enfin, quand la masse solide est détruite de manière à ne pouvoir plus opposer assez de résistance, les vapeurs se font jour au dehors, et la matière fluide s'échappe par les crevasses, non comme un courant de lave visqueuse, mais comme des torrents d'eau, qui jaillissent par chaque petite ouverture qu'elles peuvent atteindre.

» On ne peut donc regarder toutes ces eaux que comme des eaux distillées, et il faut croire qu'il en est de même de celles de ces deux rivières qui sortent du cratère du volcan d'Idjen; car ce cratère se trouve presque à la cime d'une montagne isolée, qui n'est dominée par aucune autre montagne avoisinante. »

Ces singuliers phénomènes ne sont pas rares dans l'île de Java, et s'y reproduisent en plusieurs autres lieux.

Un certain nombre d'îles volcaniques s'étendent encore de Java à *Barren-Island*, le dernier volcan de cette chaîne. Il est situé dans le golfe du Bengale, à 15 milles marins de la grande île Andaman. On voit un cirque des plus réguliers, ouvert d'un côté par où la mer trouve un libre accès pour y pénétrer. Au milieu de ce cirque, existe le cône volcanique, qui s'élève autant que les crêtes de son enceinte. Il fut découvert en 1792. Il était alors en pleine éruption, et rejetait d'immenses nuages de fumée et de pierres incandescentes¹. (Fig. XLV.)

Chaîne des îles Moluques et des îles Philippines. — La série de ces volcans occupe, comme à Java, les îles dans toute leur longueur. La partie orientale et la plus considérable de Mindano, l'île même de Gilolo paraissent être complètement volcaniques; il n'y a que quelques lambeaux de ces îles qui, sur une courte étendue, s'éloignent de la chaîne volcanique. L'île de Célèbes n'a que sa partie nord-est qui soit volcanique. Elle contient le volcan de Kemas, qui s'est soulevé en 1680, à la suite d'un violent tremblement de terre.

Chaîne du Japon et des îles Kurilles. —

M. de Buch dit que la fréquence des tremblements de terre à Formosa peut permettre de supposer que la chaîne volcanique des Philippines se perd sous le continent de la Chine. Après une longue interruption, on voit paraître une nouvelle série de cônes volcaniques qui commencent à l'île sulfureuse du groupe de Loochoo. La chaîne souterraine se continue sous la grande île du Japon et se lie à la longue série volcanique des îles Kurilles.

Après l'immense cratère de Loochoo, les principaux points volcaniques du Japon sont :

Fusao, sur la presqu'île de *Nangasaki*. — Cette montagne, autrefois large, unie, mais peu élevée, lançait des vapeurs qu'on apercevait de trois milles de distance². Mais, le 18 du premier mois (1793), elle s'abîma et laissa à sa place une excavation si profonde qu'en y lançant une pierre on ne l'entendait pas frapper le fond. Pendant plusieurs jours il en sortit de la fumée. — Le 6 du second mois, le volcan *Birano-Koubi* s'ouvrit à un demi-mille de son sommet : il en sortait des flammes qui s'élevaient à une grande hauteur; la lave qui en découlait était si abondante, sa marche était si rapide, que tout ce qui existait sur un espace de plusieurs milles devint la proie des flammes. — Le 1^{er} du troisième mois, à dix heures du soir, un violent tremblement de terre se fit sentir dans toute l'étendue de *Kiu-Siu* (Kidjo), et principalement à *Simabara*; il renversa des montagnes et des édifices, et des crevasses se formèrent sur le sol. Pendant tout ce temps, la lave ne cessa de couler³. Le 1^{er} du quatrième mois, la terre trembla de nouveau pendant des heures entières : les secousses étaient si fortes que des montagnes s'écroulèrent en entraînant avec elles des villages entiers; on entendait des bruits affreux au-dessous de la surface de la terre. Tout à coup la montagne *Miyi-Yama* sauta en l'air et retomba dans la mer; les vagues soulevées engloutirent beaucoup d'habitations situées près du rivage, au même temps que les eaux qui sortaient en abondance des ravins des montagnes inondaient tout le pays. En peu d'ins-

¹ KEMPER, t. I, p. 120.

² Asiatic researches, vol. IV, Philos. Journal, juillet 1823, p. 205.

³ TITINGER, Mémoire des Djogouns, par Abel Remusat, 1820, p. 207.

tants, *Simabara* et *Figo* ne furent plus qu'un désert; on estime le nombre des hommes qui ont péri à 33,000.

Fusi. — C'est la montagne la plus élevée et le volcan le plus considérable de tous ceux du Japon : il est un peu moins haut que le pic de Ténériffe, mais il ne le cède à aucun volcan pour la majesté de son aspect. Il est placé un peu au sud-ouest de Jedo, dans la province de Suruga. Son sommet est constamment couvert de neige, et il s'en dégage d'abondantes fumées. Il en sortait autrefois aussi beaucoup de flammes, mais elles ont tout à fait cessé depuis que la montagne s'est entr'ouverte sur un de ses flancs ¹.

Klaproth rapporte, d'après les livres japonais, que 285 ans avant notre ère, un grand éboulement forma dans une nuit le lac de Milsou-Oumi ou d'Oitz, et en même temps le Fousi noyama, la plus haute montagne du Japon, se souleva du sein de la terre.

Alamo, dans la province centrale de *Sinano*, au nord-ouest de Jedo. — Le premier août 1783, après un violent tremblement de terre, des flammes sortirent du sommet de la montagne; elles furent suivies d'une telle quantité de sable et de pierres, que la clarté du jour fut remplacée par d'épaisses ténèbres. Les habitants des environs voulurent fuir, mais le sol, qui s'entr'ouvrait partout, les engloutissait, et le feu sortant des crevasses brûla les habitations; vingt-sept villages disparurent. Un bruit horrible accompagnait cette catastrophe, et une pluie continuelle de pierres incandescentes, de quatre à cinq onces, forma à *Yasouye* une couche de quinze pouces, et de trois pieds à *Matsyeda*.

Le 14 août, à dix heures du matin, un fleuve de soufre mêlé avec de la boue, des pierres et de gros fragments de rocher, sortit du haut de la montagne, et coula jusque dans le fleuve *Asona-Gasca*, dont les eaux débordèrent et inondèrent tous les terrains adjacents. Le nombre des victimes de ce désastre est incalculable. — Le dessin japonais colorié et couvert de flammes, joint à la relation, prouve évidemment que, pendant cette éruption, une grande quantité de cônes s'é-

taient formés au-dessus d'une crevasse et agissaient comme des soupiraux par lesquels sortait le feu. Il est vraisemblable que beaucoup de villages ont été recouverts, comme en 1756, à *Lancerote* ¹.

Les îles Kurilles contiennent un grand nombre de points volcaniques, et l'on y rencontre un grand nombre de sources thermales et de dégagements de vapeurs.

Chaîne du Kamtschatka. — La péninsule du *Kamtschatka* renferme un plus grand nombre de volcans qu'on ne l'avait cru jusqu'à présent. Deux chaînes de montagnes très-différentes dans leur composition se font remarquer dans cette partie de la Sibérie. L'occidentale n'offre aucune trace de volcan, tandis que l'orientale, au contraire, se compose et de pics très-élevés, qui brûlent encore actuellement, et d'autres qui, sans être en éruption, présentent tous les caractères des volcans. L'*Atlas* de Krsensstern en retrace parfaitement l'ensemble et ce qu'ils ont de particulier dans leur forme. Ce sont de véritables fourneaux élevés au-dessus d'une crevasse qui traverse l'intérieur de toute cette contrée. Les sources chaudes et l'abondance du soufre qui, en plusieurs endroits, couvre le rivage en forme de gravier, prouvent assez que toute cette chaîne de montagne est la proie du feu. Elle se lie avec les volcans du Japon, des Philippines et des Kurilles. Les principaux sont :

Le pic *Strelotchnoy*, ou volcan d'*Awatscha*, au nord de la baie de ce nom. — Sa plus grande éruption est celle de 1756; elle fut accompagnée d'un violent tremblement de terre et d'une agitation extraordinaire de la mer qui envahit et inonda la terre. Une autre éruption eut lieu en 1777, pendant que le capitaine Clerk était au Havre de Saint-Pierre-Saint-Paul. En 1787, La Peyrouse et ses compagnons voyaient continuellement de la fumée et des flammes au sommet de la même montagne. Elle exhale de temps en temps de la fumée. Elle serait élevée de 10,704 pieds de roi, suivant le docteur Horner.

Tobaltchiuskoy. Lat. 55° 30'. — Volcan au milieu de la grande plaine du Kamtschatka,

¹ Klaproth, *Japon*, t. 1, p. 120.

¹ Titsingh, *Mémoire des Djougoun*, p. 180.

et toujours appartenant à la même chaîne. Il fume constamment. Il a été en grande activité, surtout en 1793. Lesseps en a encore aperçu un autre dans son voisinage : c'est sans doute celui que M. Stein appelle *Kamkatkoi-Shapka*. Celui-ci est très-élevé. Depuis 1728, il a éprouvé de fréquentes éruptions d'une force considérable : quelques-unes d'entre elles ont recouvert de cendres, dans un rayon de 300 kilomètres, le pays autour du volcan.

Klutschevskaja. Lat. 36° 10', de 7 milles au sud de Nischnei-Kamtschatka. — C'est le volcan le plus élevé de cette presqu'île, et le dernier vers le nord. Ses flancs sont recouverts de neiges. Souvent les laves qui coulent du sommet sont arrêtées par les glaces, qu'elles brisent et ponnent devant elles; alors elles roulent, mêlées avec des masses glacées, sur le penchant de la montagne, en faisant un bruit qui porte l'épouvante à 100 werstes à la ronde. Il y a beaucoup de soufre au pied du cône. Le cratère, qui a une werste d'étendue, mais dont la forme varie souvent, lance continuellement des flammes, des étincelles ou des vapeurs; ces dernières, blanches et épaisses, sortent sous la forme de grosses boules, qui se transforment ensuite en anneaux et disparaissent dans l'atmosphère. Avant 1762 ce volcan était terminé en pointe; peu à peu le cratère s'abaissa, et le sommet s'aplatit; mais, depuis 1772, la lave s'est élevée de nouveau, et la pointe terminale a reparu. En février 1821, forte éruption qui fut précédée de plusieurs secousses violentes et continues. Ce phénomène occasionna l'affaissement des deux tiers du cône d'Alaïde, petite île de forme conique, de la société des Kurilles. — Cette montagne peut être aperçue des îles Behring, ce qui suppose une hauteur au moins égale à celle du pic de Ténériffe ¹.

Scherelatich ou *Krasnaja-Sopka*, à 80 werstes au nord du précédent, près des sources de Iltschusch et du Bakus, qui coulent dans le Kamtschatka, et de celle du Tigil ².

Plusieurs de ces montagnes volcaniques, ou Sopka, ou Shapka, sont éteintes depuis

longtemps. Le nombre de celles qui sont encore actives n'est pas fixé ³.

Chaîne des îles Aleutiennes. — Ces îles présentent une seule et unique chaîne; elles ressemblent aux piles d'un pont immense qu'on aurait voulu jeter de continent en continent. Elles décrivent, entre le Kamtschatka en Asie et le promontoire d'Alaska en Amérique, un arc de cercle qui joint presque ces deux terres ensemble. On y en distingue douze principales, accompagnées d'un très-grand nombre d'autres petites îles et de rochers. On y connaît plusieurs volcans actifs.

Semi-Soposchna renferme le premier volcan occidental connu de cette série. D'après le dessin de Saner ⁴, ce volcan est pointu, mais peu élevé; il est situé dans la partie méridionale de l'île. Les autres points enflammés ne sont peut-être que des cônes d'éruption.

Rocher-Goreloi, à l'ouest de Tanaga (et non pas l'île de Goreloi, qui est plus à l'est). — C'est un volcan haut et escarpé, qui s'élève uniformément depuis la mer jusqu'à son sommet ⁵.

Tanaga. — Ce volcan, situé dans la partie nord-ouest de l'île, est peut-être le plus grand de cette série. Le cône, qui s'élève rapidement, a près de dix milles géographiques de contour, ce qui est presque autant que l'Etna. Le sommet est divisé en plusieurs pointes, dont la plus élevée fume constamment, et des neiges perpétuelles, souvent recouvertes de cendres, enveloppent plus de la moitié de ce volcan ⁶.

Kanaga ou Kanaghi contient beaucoup de sources chaudes, qui sortent près du rivage, et dans lesquelles les habitants font cuire la viande et le poisson. Autrefois on recueillait beaucoup de soufre dans le cratère d'un volcan très-élevé ⁷.

¹ Voir, pour plus de détails, *Krascheninikoff's Besch. von Kamt*, 1766. — *Voyage à la montagne volcanique de Stréloschnaya-Sopka, au Kamtschatka, fait dans le courant des mois d'août et sept.* 1814; *St.-Petersburg Zeitschrift*; mars 1825, p. 353.

² *Billing's Exped.*, p. 277.

³ *Idem*, p. 221.

⁴ SAUER, p. 221.

⁵ *Lasarew in Schläzer's Nachr. von den neu entd. Ins. Zwischen Asien u. Amer*; Hamb., 1776, p. 65. — SAUER, p. 236.

⁶ SAUER, *Billing's Exped.*, p. 202.

⁷ *Idem*, p. 306.

Unimak. — Les volcans de cette île, que l'on confond souvent avec Unimak, sont très-actifs ¹. C'est dans ses environs qu'une île nouvelle apparut, en mai 1796.

Pic Makuschkin, dans la partie septentrionale d'Unalaska. — Il n'a pas beaucoup plus de cinq mille pieds, puisqu'il est moins haut que le pic d'Unimak. C'est cependant le plus élevé de toute l'île. Il fume continuellement, et on recueille du soufre dans l'intérieur de son cratère; il est séparé de toutes les autres montagnes. Il y a beaucoup de sources chaudes au pied du volcan; on ne voit, dans son voisinage, aucun indice de lave ou de ponce ².

Agaidan, sur Unimak, la moyenne de trois montagnes élevées qui s'aperçoivent de très-loin. — C'est un cône régulier dont le sommet lance une grande quantité de fumée ³. Il a 5,167 pieds de roi, suivant l'évaluation de Kotzebue.

Alaska. — Il y a deux volcans à l'extrémité d'Alaska; ils sont placés sur le sommet d'une chaîne de montagnes granitiques et de schiste argileux, qui traversent cette presqu'île; ces montagnes, et les deux pics volcaniques, sont très-élevés. Le premier, au nord-ouest, qui s'est affaissé lors de la violente éruption de 1786, paraît être encore, malgré son sommet tronqué, le plus élevé, plus même que le pic d'Unimak. La neige recouvre, non-seulement le cône du volcan, mais encore le tiers de la base au-dessus de laquelle il s'élève ⁴.

Chaîne des îles Mariannes. — Cette série est isolée et ne se rattache à aucun continent. D'après une carte de Monterey, ces volcans seraient au nombre de sept, dans un alignement qui ne peut, dit M. de Buch, être l'effet du hasard; un huitième, situé au sud de ceux-ci, est celui de l'île de l'Assomption. Aucun pays volcanique ne présente un aspect plus effrayant que cette île; c'est un cône parfait qui, jusqu'à 200 pieds au-dessus de la mer, paraît entièrement noir. L'odeur sulfureuse qui s'en exhale et qui s'étend à un demi-mille au loin sur la mer, ne peut laisser aucun doute sur l'activité de ce volcan.

¹ CHAMISSO, p. 166.

² *Idem*, p. 165.

³ SAUER, p. 164.

⁴ CHAMISSO, p. 165.

Chaîne générale des volcans d'Amérique.

— « Quoique fréquemment interrompues et
« même sur des longueurs considérables, les
« séries des volcans de l'Amérique peuvent
« cependant toujours se rattacher aux chaînes
« de montagnes qui s'élèvent sur le continent.
« Elles ont même, sous quelques rapports,
« de grandes ressemblances avec la série des
« volcans de l'Austrasie et des îles Moluques.
« En effet, cette chaîne se recourbe vers le
« nord-ouest, et se divise en deux autres chaînes qui entourent le golfe du Mexique, de
« la même manière que les volcans des Moluques, dans la mer de Chine, et de même que
« ceux-ci finissent par se perdre dans les parties où le continent de l'Asie devient plus
« considérable et plus étendu, de même les
« volcans de l'Amérique disparaissent dès que
« l'Amérique septentrionale a pris une grande
« largeur et une grande extension.

« Toutefois ces deux systèmes principaux
« de volcans à la surface de la terre, présentent une différence essentielle, qui ne peut
« pas être passée sous silence : c'est que la
« chaîne de l'Austrasie s'étend le long de la
« partie convexe du continent, tandis qu'au
« contraire la chaîne de l'Amérique est en
« connexité avec la partie concave de cette
« partie du globe ¹. »

Chaîne du Chili. — Cette contrée renferme un grand nombre de volcans actifs, mais qui sont peu connus. M. de Buch suppose aussi que l'on doit y rencontrer un certain nombre de dômes trachytiques élevés par des forces volcaniques, qui n'ont pas eu assez d'intensité pour se manifester, soit par la cime, soit par le pied de ces sortes de volcans.

Parmi ceux sur lesquels on a quelques données, se trouvent :

Le volcan de Volcuno, situé en dehors de la chaîne principale. C'est un cône en forme de pain de sucre, qui rejette tant de cendres et de vapeurs que rien ne peut croître jusqu'à quatre à cinq lieues de distance ².

Volcan de Antio ou Antuco. C'est un des plus remarquables et peut-être le mieux connu par la description de M. Édouard Poeppig.

¹ DE BUCH, p. 465.

² DON DIEGO ORBONNER DE SALLAS, lib. II, chap. 18. cité par de Buch.

qui a séjourné au pied de ce volcan et qui s'est élevé jusqu'à sa cime¹.

« Il paraît, dit M. Pœppig, que le volcan s'élève au milieu d'un cirque basaltique, ou d'un immense cratère de soulèvement; phénomène très-curieux, qui ne s'est point encore observé sur une aussi grande échelle, autour d'aucun autre volcan, mais qui certainement a de l'analogie avec ce qu'on observe en Islande, où la bande volcanique est bornée des deux côtés par des amygdaloïdes et des basaltes en prismes. Les effets de l'action volcanique se manifestent de suite, dès qu'on est entré dans ce cirque basaltique. D'immenses courants de lave se précipitent des flancs escarpés; et séparés en différentes branches, ils se réunissent vers le cône du volcan. On les dirait composés de scories de hauts fourneaux, car ils n'ont point de cohérence, et toute la masse semble brisée et séparée en morceaux aigus et raboteux. Arrivé au haut de la vallée d'Antuco, dans laquelle coule la rivière de la Laja, on se trouve environné de très-grands rochers de cette lave. Elle n'est pas basaltique, mais elle contient en abondance des pyroxènes et des cristaux blancs rhomboïdaux de feldspath, ou plus vraisemblablement d'albite. La lave serait donc formée ou d'une dolérite ou d'une andésite. Toutes les branches réunies de ces courants paraissent être sorties non loin du plateau qu'on atteint au haut de la vallée. C'est là qu'on rencontre un grand lac de cinq à six lieues d'étendue, qui baigne le pied du cône du volcan même, placé sur son bord méridional. Le cône, enfin, s'élance fort avant dans la région des neiges perpétuelles, et il est d'un accès très-difficile. À la cime, on trouve un cratère de 750 pieds de l'est à l'ouest, de 350 pieds du nord au sud, et de 50 toises de profondeur. Plusieurs grandes ouvertures y dégagent des vapeurs acides et suffocantes, et du soufre se dépose sur leurs parois. D'autres crevasses vomissent des vapeurs noires et également suffocantes, puis, après quelques moments de repos, il s'en élance, avec un sifflement terrible, des vapeurs blanches, qui rejettent fort loin, et à une très-grande

hauteur, du sable, des pierres et assez souvent même d'immenses blocs arrachés de l'intérieur. Ces vapeurs blanches disparaissent bientôt, mais les noires s'élèvent jusqu'à une très-grande hauteur, et couvrent souvent toute la cime même.

« Jamais un courant de lave ne s'est écoulé de cette cime; on les voit toujours sortir du pied du cône, et de là se précipiter dans le fond des vallons. En 1828, un très-fort courant s'écoulait continuellement du côté du nord par de grandes ouvertures, et répandait la nuit une lueur qu'on pouvait apercevoir à quarante lieues de distance. On ne rencontre ni verre volcanique ni pierre ponce autour de ce volcan, ce qui certainement est une preuve que le trachyte n'entre pas dans sa composition. Mais les courants de lave lui donnent un caractère remarquable, car il y a peu de volcans dans la chaîne des Andes, qui en aient offert, et jamais on n'en a vu autour des volcans de Quito¹. »

Indépendamment de ces deux volcans, M. de Buch en cite encore vingt-deux qui appartiennent à la même chaîne ou peut-être à quelques chaînons latéraux. Le nombre en est probablement plus considérable encore, et il serait d'autant plus curieux d'avoir des données positives sur ces volcans, qu'ils semblent avoir une influence marquée sur les tremblements de terre, si remarquables, auxquels cette contrée est exposée. Le pays qui est dépourvu de bouches volcaniques est précisément celui qui est le plus exposé à ces violentes secousses. Nulle part les tremblements de terre ne sont plus terribles que du côté occidental de la chaîne des montagnes du Chili, tandis qu'ils sont à peine sensibles vers l'intérieur ou sur le penchant oriental des montagnes. Aussi M. Pœppig assure que l'on craint beaucoup plus les secousses qui viennent du côté de la mer que celles qui arrivent du côté opposé. Elles semblent du reste avoir une sorte de périodicité sur ces côtes, car la ville de Copiaco a été dévastée régulièrement tous les vingt-trois ans : en 1773, 1796 et 1819.

Volcans de Bolivie et du haut Pérou.— Cette série est composée d'environ dix volcans,

¹ *Voyage au Chili et au Pérou*; Leipzig, 1855, cité par de Buch.

¹ De Buch, p. 466 à 468.

dont de nouvelles recherches augmentent peut-être le nombre. Ils sont situés sur la crête occidentale, qui borde le plateau élevé des Andes. Cette crête offre une ligne non interrompue de cônes actifs et de pics trachytiques.

Le *volcan d'Alacama*, le premier de la chaîne de Bolivie, est à peine connu. Le *Sehama*, ou *volcan de Gualatieri*, est une pyramide imposante, qui s'élève beaucoup au-dessus de la région des neiges perpétuelles. La cime est tronquée et laisse continuellement échapper de la fumée.

Selon M. Pentland, le *volcan de Chungara* offre deux cimes dont l'une, tronquée, est un cratère, tandis que l'autre, désignée sous le nom de *Parinacota*, paraît être un dôme sans cratère.

Le *Chipicana* a un cratère qui s'ouvre du côté de l'est, et à peu de distance se trouve une solfatare d'où s'écoule un ruisseau d'eau acide. Le *Viejo* a aussi un grand cratère. Le *volcan d'Omato cat*, en 1667, une violente éruption.

Le cône d'*Aréquipa* est le plus parfait et le plus pittoresque de la chaîne des Andes. Le cratère, qui est grand, mais peu profond, s'ouvre au sud-est, et le sommet n'est entouré que de pierres et de sable : on ne trouve de traces d'éruption qu'au pied. Le volcan est entouré par quatre pics de la montagne *Cachen*, et on ne trouve, sur la partie élevée de ses flancs, que du trachyte et du porphyre noir. Il sort constamment du cratère des vapeurs et de petites quantités de cendres ; mais il n'a pas eu d'éruption depuis l'arrivée des Espagnols en Amérique.

Suivant M. S. Curson, ce volcan aurait 22,528 pieds, ou 7,353 mètres de haut¹ ; cette mesure nous paraît exagérée ; celle que lui donne M. Pentland est plus digne de croyance. Ce dernier naturaliste a trouvé 3,600 mètres².

Volcan d'Urinás, à quelques milles à l'est-sud-est du précédent. — Il est moins élevé. Son immense cratère est actuellement éteint.

¹ *Excursion au volcan supposé d'Aréquipa au pic de Misté, au Pérou*, par Samuel Curson, esq. ; *Ibid. Journal*, nov. 1855, p. 352.

² *Annales de Chimie et de Physique*, t. XI, II, p. 451.

C'est de ce volcan que partirent dans le xvi^e siècle, les immenses quantités de cendres qui ensevelirent presque totalement la ville d'Aréquipa, et produisirent les effets les plus désastreux dans la contrée environnante.

Volcans de Quito. — Les travaux de MM. de Humboldt et Bonpland, et ceux de M. Bous-singault, ont fait connaître avec détails les curieux volcans du plateau de Quito.

« Il est très-probable, dit W. de Humboldt, que la plus grande partie de la haute contrée de Quito, ainsi que les montagnes avoisinantes, sont formées par un immense dôme volcanique, qui s'étend du nord au sud et embrasse un espace de plus de 600 milles carrés. Le *Cotopaxi*, le *Tunguragua*, l'*Antisana*, le *Pichincha*, s'élèvent au-dessus de cette même voûte, comme les diverses sommités d'une même montagne. Des masses de matières enflammées s'échappent tantôt par l'un, tantôt par l'autre de ces volcans ; et lorsque l'obstruction d'un de ces cratères pourrait nous faire penser que le volcan est éteint, il arrive souvent que l'action volcanique s'exerce avec non moins d'intensité dans l'intérieur et dans son voisinage, au-dessous de Quito aussi bien qu'au-dessous des volcans de *Imbaburú* ou du *Pichincha* ». »

Les volcans de Quito sont nombreux, et présentent pour la plupart des formes colossales. Nous allons désigner les principaux.

Sangay, hors de la chaîne orientale, au pied de la pente³. Il a néanmoins 16,080 pieds de hauteur³. Personne ne l'a visité, mais il fume constamment, et en 1742 on vit sortir de son cratère des flammes qui s'élevaient au-dessus de la chaîne de montagnes.

Tunguragua. — Il est élevé de 15,471 pieds. Il a eu une éruption en 1641.

Le *Carguairazo* s'élève à 14,706 pieds de hauteur, et se trouve très-rapproché de l'énorme dôme trachytique de *Chimborazo*, qui paraît n'avoir jamais été un volcan actif. Peut-être le *Carguairazo* lui-même était-il un dôme semblable au précédent, lorsque, dans la nuit du 19 au 20 juin 1698, il s'écroula. Des torrents d'eau et des éjections boueuses

¹ *Relat. hist.*, t. II, p. 15.

² *Idem*, p. 452.

³ La CONDAMINE, *Mex. des trois premiers degrés*, p. 56.

sont sortis alors des flancs entr'ouverts de la montagne et ont rendu stériles les campagnes environnantes. Cette catastrophe horrible a été accompagnée d'un tremblement de terre qui, dans les villes voisines d'Hambato et de Llacacanga, a englouti des milliers d'habitants ¹.

La cime de cette montagne présente maintenant des cônes hérissés de pointes et des aiguilles brisées qui menacent ruine.

Le *Cotopaxi* est le plus élevé de ceux des volcans des Andes qui, à des époques récentes, ont eu des éruptions. Sa hauteur est de 5,754 mètres (2,952 toises); elle est double de celle de Canigou, elle surpasse par conséquent de huit cents mètres la hauteur qu'aurait le Vésuve s'il était placé sur le sommet du pic de Ténériffe. Le *Cotopaxi* est aussi le plus redouté de tous les volcans du royaume de Quito; c'est celui dont les explosions ont été les plus fréquentes et les plus dévastatrices. En considérant les masses de scories et les quartiers de rochers lancés par le volcan, et dont les vallées environnantes sont couvertes, sur une étendue de plusieurs lieues carrées, on doit croire que leur réunion formerait une montagne colossale. En 1758, les flammes du *Cotopaxi* s'élevèrent, au-dessus du bord du cratère, à la hauteur de 900 mètres. En 1744, le mugissement du volcan fut entendu jusqu'à Houda, ville située sur les bords de la rivière de la Madeleine, à une distance de deux cents lieues communes. Le 4 avril 1768, la quantité de cendres vomies par la bouche du *Cotopaxi* fut si grande que, dans les villes d'Hambato et de Tacanga, la nuit se prolongea jusqu'à trois heures du soir, et que les habitants furent obligés d'aller avec des lanternes dans les rues. L'explosion qui arriva au mois de janvier 1803, fut précédée d'un phénomène effrayant, celui de la fonte subite des neiges qui couvraient la montagne. Depuis plus de vingt ans, aucune fumée, aucune vapeur visible n'était sortie du cratère, et, dans une seule nuit, le feu souterrain devint si actif, qu'au soleil levant les parois extérieures du cône, élevées sans doute à une température très-considérable, se montrèrent à nu, et sous la couleur noire qui est propre

aux scories vitrifiées. Au port de Guayaquil, dans un éloignement de cinquante-deux lieues en ligne droite du bord du cratère, nous entendîmes nuit et jour les mugissements du volcan, comme des décharges répétées d'une batterie; nous distinguâmes même ce bruit épouvantable dans la mer du Sud, au sud-ouest de l'île de la Puna ².

Sinchulagu, à quelques milles au nord du précédent. — Son éruption de 1760 suffit pour le faire regarder comme un volcan actif. Il a 15,420 pieds de haut ³.

Guachamayo, au pied des montagnes du côté de l'Orient, près des sources du Rio-Napo ⁴.

Autisana, dans la chaîne orientale; élévation de 17,936 pieds, suivant M. de Humboldt. — C'est le seul des volcans de Quito près du sommet duquel le naturaliste prussien ait trouvé quelque chose qui ressemblât à une coulée de lave; elle se rapprochait presque de l'obsidienne. On trouve aussi sur les flancs des scories qui ressemblent au pectstein et à la ponce ⁵. On ne connaît pas d'éruption postérieure à celle de 1590.

Ricu-Pichincha. — C'est un des volcans les plus grands de la terre; son cratère, creusé dans un trachyte d'une couleur très-foncée, qui ressemble au basalte, a été comparé par La Coudamine au chaos des poètes. Cette bouche immense était alors remplie de neige; mais M. Humboldt la trouva embrasée. « La bouche du volcan forme un trou circulaire de près d'une lieue de circonférence, dont les bords, taillés à pic, sont couverts de neige par en haut. L'intérieur est d'un noir foncé; mais le gouffre est si immense, que l'on distingue la cime de plusieurs montagnes qui y sont placées; leur sommet semblait être à deux ou trois cents toises au-dessous de nous. Jugez donc où doit se trouver leur base. Je ne doute pas que le fond du cratère ne soit de niveau avec la ville de Quito. »

Ce volcan eut une éruption en 1660, et la dernière eut lieu tout récemment, en 1831.

¹ HUMBOLDT, *Vue des Cordillères et Monuments de l'Amérique*, in-8°, t. I, p. 145.

² LA Coudamine, *Mss.*, p. 56.

³ HUMBOLDT, *Relat. hist.*, t. II, p. 452.

⁴ *Niv. barom.*, p. 29.

⁵ HUMBOLDT, *Vue des Cordillères*, etc., t. I, p. 287.

L'*Imbaburú* est situé presque exactement sous l'équateur, sur le flanc occidental de la vallée, à peu de distance de la ville d'Ibarra.

Chiles, situé sur une chaîne perpétuellement couverte de neige, à l'ouest de Tulcan¹.

Cumbal, au nord du précédent, auquel il est réuni. — Il peut avoir 13,600 pieds de haut. Il offre plusieurs cratères près de son sommet et un peu plus bas; ils lancent continuellement une grande quantité de vapeurs et de fumée. Il paraît qu'il n'a jamais eu d'éruption violente².

Asufrat, encore plus loin, au nord, et toujours dans la même chaîne. — Montagne dont le dos est dentelé, et dont le flanc s'abaisse doncement au sud et se perd dans la plaine. Le sommet est rarement visible et contient plusieurs cratères fumants, mais la fumée ne peut pas s'apercevoir du pied, comme au volcan de Cumbal. Un de ces cratères présente un marais sulfureux bouillant; d'énormes masses de soufre, tantôt en amas, tantôt en filons, traversent le trachyte dans tous les sens³.

Sotara, au sud-est de Popayan. — C'est un cône tronqué qui, par sa couleur noire et sa forme, présente un aspect effrayant. Depuis 50 à 60 ans, son sommet a changé de forme; autrefois il était pointu, maintenant il est large, et on remarque son affaissement sous la neige⁴.

Puracé, ou *Paracé*, à l'est de Popayan. — C'est une pyramide quadrangulaire tronquée, haute de 13,648 pieds, composée supérieurement d'obsidienne, et depuis la vallée jusqu'à 8,000 pieds, entourée de granite⁵.

Sa dernière éruption est du 18 novembre 1827; elle a été précédée d'un violent tremblement de terre qui a détruit la ville de Popayan⁶.

Pasto, au nord de la ville du même nom, et tout à fait séparé des Cordillères. — Il est

sovent couvert de neige. Il a environ 12,600 pieds d'élévation. Son cratère est placé de l'autre côté de *Pasto*, de sorte qu'on ne peut l'apercevoir de la vallée. Au sommet d'une élévation, dans l'intérieur de ce cratère, se trouvent deux ouvertures d'où sortent sans cesse, non-seulement de la fumée, mais aussi des flammes. En novembre et décembre 1796, il s'en éleva une colonne de fumée si haute, qu'on l'apercevait de *Pasto*, phénomène auquel on n'était pas accoutumé. Cette colonne disparut en février 1797, lorsque la province de Quito fut ravagée par des tremblements de terre.

Un autre volcan près de Río-Fragua, à l'est des sources de la Madeleine, au nord-ouest de la mission de Santa-Rosa, et à l'ouest de Puerto del Pescado, fume continuellement⁷.

Pic de Tolima. — C'est un volcan actif, suivant M. Roulin. De Santana, il a vu, plusieurs matins de suite, la fumée s'en élever en colonne verticale. L'on n'avait observé, de mémoire d'homme, rien de semblable avant le tremblement de 1826. M. Roulin a trouvé, dans une histoire inédite de la conquête, écrite en 1623, le détail très-circonstancié d'une éruption de ce volcan. C'était le 12 mars 1598; après trois violentes détonations, on vit fondre tout à coup toute la neige du sommet; deux rivières qui prennent leur naissance près de là, furent un moment arrêtées dans leur course, puis censèrent une inondation très-étendue, roulant avec leurs eaux des pierres poncees et des quartiers de rocs énormes. Leurs eaux furent infectées, et pendant quelque temps on n'y trouva aucun poisson. Ce volcan, peu connu des voyageurs qui ont jusqu'ici visité cette partie de l'Amérique méridionale, est distant de 40 lieues au moins de la mer⁸.

Volcans des Antilles. — Les Antilles forment une chaîne d'îles, qui s'étend en arc de cercle, dont l'extrémité méridionale se rattache au cap Paria, dans l'Amérique méridionale, tandis que l'extrémité septentrionale

¹ Humboldt, *Atlas pittor.*, p. 26.

² *Idem*.

³ *Idem*.

⁴ *Idem*.

⁵ *Idem*, *Nir. barom.*, p. 24.

⁶ *Globe*, 22 mars 1828; et *Bulletin des Sciences natur. et de Géologie*, juin 1829, t. XVII, p. 335.

⁷ Humboldt, *Relation historique*, t. II, p. 452.

⁸ Lettre de M. Roulin à l'Académie des Sciences, en date du 4 mai 1829, sur les circonstances qui accompagnent les tremblements de terre, en Amérique, dans la république de Venezuela. *Annales de Chimie et de Physique*, t. XLII, p. 410.

se lie à la Floride par les Iles Bahama. Cette ligne est en communication avec la chaîne de montagnes primitives de Caracas, par l'intermédiaire, sans doute, des Iles Tortuga et Margarita. Il existe un grand nombre de volcans, tous peu élevés, puisqu'ils atteignent à peine six mille pieds. Ce sont néanmoins de véritables volcans, et non de simples *solfatares* qui auraient cessé de brûler et ne produiraient plus que des vapeurs sulfureuses, comme quelques auteurs l'ont prétendu. L'expérience a démontré que l'action volcanique se faisait jour indifféremment par la Guadeloupe, Saint-Christophe, la Martinique ou Saint-Vincent. — Les Iles volcaniques des Antilles se suivent toutes immédiatement, sans aucun intermédiaire; mais à l'est se trouve une autre rangée d'Iles moins bien terminée, qui, jusqu'à présent, n'a offert que peu de traces de l'action du feu, et qui ne contient pas un seul volcan. Voici quelles sont les Iles volcaniques :

Ile de la Grenade. — Le *Morne-Rouge*, trois monticules coniques de 500 à 600 pieds de haut, consistent en scories et en matière vitrifiée; c'est vraisemblablement un cône d'éruption. Des colonnes de basalte, nommées les *Orgues*, se montrent sur deux points de la côte ¹. Il y a beaucoup de sources d'eau bouillante.

Saint-Vincent. — Le *Morne-Garou*, volcan de l'île, et par conséquent la montagne la plus élevée, a 4,740 pieds ². Il a jeté des laves en 1718 et en 1812. Le 27 avril de cette dernière année, des cendres sortirent du cratère; elles furent suivies de feu pendant la nuit; dans celle du 29, il vomit des flammes formant une pyramide élevée, et le 30, à sept heures du matin, la lave se fit issue à travers le flanc nord-ouest de la montagne; elle coula avec une telle rapidité qu'en quatre heures de temps elle atteignit le rivage de la mer. A trois heures, il y eut une terrible éruption de pierres et de cendres, provenant du grand cratère, qui détruisit toutes les plantations de l'île. Les cendres furent transportées, par le contre-courant supérieur des alizés,

jusqu'à la Barbade, située à trente lieues plus à l'est. Cette éruption fut précédée de plus de deux cents secousses souterraines, qui se firent sentir pendant plus d'une année ³.

Sainte-Lucie. — Le cratère nommé *Oualibou* se trouve sur une chaîne escarpée et stérile, qui traverse l'île du nord-est au sud-ouest, mais qui a tout au plus 1,200 à 1,800 pieds de haut ⁴. Le tour du cratère est très-élevé et rapide, surtout au sud-ouest; des vapeurs sortent de tous les points, et s'élèvent le long des flancs. Le fond en est occupé par vingt-deux petits lacs dont l'eau paraît être dans un bouillonnement perpétuel; dans quelques-uns, l'agitation est si violente, que les vagues sont lancées à quatre et cinq pieds de haut. On trouve beaucoup d'endroits recouverts de soufre, et les ruisseaux qui sortent de la montagne contiennent beaucoup d'acide carbonique. On prétend que ce cratère a vomé des pierres et des cendres en 1766 ⁵.

La Martinique. — La *Montagne-Pelée*, dans le nord de l'île, contient un grand cratère ou une soufrière; elle a 4,416 pieds, selon Dupuget ⁶. D'autres petits cratères, s'élevant jusqu'à 3,000 pieds, prouvent qu'il y a eu des éruptions latérales. Le 22 janvier 1762, il y eut une petite éruption précédée d'un violent tremblement de terre, et on vit sortir des vapeurs sulfureuses et de l'eau chaude. Le Piton du Carbet, au milieu de l'île, présente sur ses flancs des coulées de laves riches en feldspath, et des colonnes de basalte dans les fonds, entre ce pic et celui de Vaudlin, le troisième de l'île ⁷.

La Dominique. — Masse confuse de montagnes, dont les plus élevées ont 5,700 pieds de haut; elles contiennent plusieurs solfatares qui ne sont pas encore épuisés et qui causent fréquemment des éruptions sulfureuses ⁸.

Guadeloupe. — Le volcan ou soufrière, situé au milieu de l'île, a 4,794 pieds de haut,

¹ *Trans. of New-York phil. Soc.*, 1815, t. 1, p. 518.

² *Humboldt, Relat. hist.*, t. II, p. 22.

³ *Cassan, Stockh. Vetensk. Acad. nya Handl.*, t. XI, p. 165.

⁴ *Journal des Mines*, t. VI, p. 58.

⁵ *Morreau de Joannès, Humboldt, Relat. hist.*, t. II, p. 22.

⁶ *Tuckey, Marit. Geogr.*, t. IV, p. 272.

⁷ Docteur CHISHOLM, *On the Malign. Fever of the West Indies*, 1812, t. II, p. 22.

⁸ Doct. CHISHOLM.

d'après Le Boucher, et 5,100 d'après Anico. Après que les Antilles eurent été ébranlées pendant l'espace de huit mois, il lança, le 27 septembre 1797, avec un grand bruit souterrain, des poncees, des cendres et d'épaisses vapeurs sulfureuses ¹.

Mont-Serrat. — La soufrière, sur les hauteurs de Galloway, a environ 5 à 400 pieds de long, et moitié autant de large. Une vapeur sulfureuse sort d'entre les pierres détachées du fond qu'elle chauffe, et l'eau qui passe en coulant près des crevasses s'échauffe presque jusqu'à l'ébullition, tandis que celle qui passe plus loin reste froide. Le soufre ne sort pas toujours des mêmes ouvertures; il s'en forme journellement de nouvelles, tandis que d'anciennes se ferment; c'est pourquoi toute la masse des roches environnantes est remplie de soufre. Il existe encore une autre soufrière semblable, à un mille de celle-ci ².

Nevis possède un cratère remarquable, qui émet des vapeurs sulfureuses et beaucoup de sources chaudes ³.

Saint-Cristophe, ou Saint-Kitts. — Montagnes stériles et escarpées. La plus élevée, le Mount-Misery, a 5,485 pieds au-dessus de la mer; elle est formée de trachyte, et son sommet renferme un cratère très-complet ⁴. Cette île était autrefois fréquemment tourmentée par des tremblements de terre; mais, depuis la grande éruption du mois de juin 1692, qui dura plusieurs semaines, le sol est tranquille ou rarement agité ⁵.

Saint-Eustache. — Cette île est formée par deux montagnes qui laissent entre elles un vallon très-resserré. Le sommet oriental, qui est conique et arrondi, a dix milles marins de tour; il contient un cratère qui, sous le rapport de la hauteur, de la circonférence et de la régularité, surpasse tous ceux des Antilles; aussi les Anglais le nomment le *Punchbowl* ⁶. On trouve autour des poncees pesantes et des roches de gneiss, mais peu de laves ⁷.

Volcans de Guatimala. — Ces volcans, dont les éruptions sont peu connues, ont excité de tout temps l'attention des navigateurs, à cause de leurs énormes dimensions, et surtout parce qu'ils semblent s'élever du fond de la mer jusqu'au delà de la région des nuages.

« La grande Cordillère des Andes, dit M. de Buch, s'est tellement abaissée vers l'isthme qui joint les deux grandes parties de l'Amérique, qu'à peine y reconnaît-on encore une chaîne de montagnes. Le partage des eaux entre Panama et le golfe du Mexique ne s'élève, selon M. Lloyd, que de 594 pieds de Paris, et les montagnes des environs ne surpassent pas 1,000 pieds de hauteur. Les volcans qui jusque-là étaient placés sur le faite de la chaîne, descendent depuis la province de *Yeragua*, et suivent le pied de cette chaîne. En effet, ce qu'on peut encore appeler chaîne des Andes, dans l'Amérique centrale, s'étend beaucoup à l'est de la chaîne des volcans, et ceux-ci ne s'éloignent presque point des côtes de la mer; ils s'étendent dans la direction du sud-est au nord-ouest, qui est aussi la direction générale de la côte, avec une si grande régularité et une si grande constance, qu'on doit toujours se défier des volcans qu'on place dans les points qui sortent sensiblement de cette ligne, probablement produite par une immense crevasse souterraine, par laquelle les forces intérieures se font jour, au moyen de ces cheminées gigantesques qu'elles ont élevées au-dessus de cette crevasse ¹. »

M. de Buch donne des détails sur vingt-huit volcans reconnus dans cette chaîne. Comme ils n'offrent aucun phénomène que nous n'ayons déjà décrit, et comme d'ailleurs ils sont pour la plupart fort peu connus, nous ne les reproduisons pas.

Volcans du Mexique. — Ces volcans ne présentent plus la même direction que les autres chaînes volcaniques du nouveau continent. Ils sont rangés sur une même ligne dirigée de l'est à l'ouest, qui coupe obliquement l'étroit continent de l'Amérique. Malgré son étendue, M. de Buch est tenté de la considérer comme une faille subordonnée qui ne s'étend pas sur les flancs des grandes failles

¹ HENSOLDT, *Reise. Hist.*, t. I, p. 310.

² NUGENT, *Géol. Trans.*, t. I, p. 105.

³ Docteur CHISHOLM.

⁴ Idem.

⁵ *Phil. Trans.*, t. XI II, p. 99.

⁶ DEPOCKY, p. 45.

⁷ ISSERT, *Voyage à la Ninée*, p. 320.

¹ DE BUCH, p. 501.

générales et qui ne se prolonge pas au delà du continent restreint de Mexico. « Ce serait » alors, dit ce célèbre géologue, une sorte de » fracture oblique analogue à celle des volcans de Java, qui s'étend obliquement à » travers l'île, mais qui ne se prolonge pas » au delà. »

Les volcans actifs sont au nombre de cinq :

Tuxtla, au sud-est de la Vera-Cruz. — Sa dernière éruption, qui fut très-considérable, eut lieu en 1793. Les déjections de cendres furent alors transportées jusqu'à Perote, à 57 lieues en ligne droite.

Pic d'Orizaba ou Citlaltepétl (Montagne Étoilée). — On ne connaît pas d'éruptions récentes. Les plus violentes ont eu lieu depuis 1543 jusqu'en 1566. On doit une très-belle vue de ce volcan à M. de Humboldt ¹. Il a 16,502 pieds, suivant le même auteur ². Les Indiens le nomment *Citlaltepétl* ou *Montagne Étoilée*, à cause des exhalaisons lumineuses, qui sortent de son cratère et jouent autour de son sommet, couvert de neiges éternelles.

Popocatepétl (Montagne Fumante), ou *volcan de la Puebla*. — C'est la montagne la plus haute du Mexique; son élévation est de 16,626 pieds. Ce volcan fumait déjà du temps de la conquête du Mexique. Il est toujours enflammé. De temps immémorial il n'a pas jeté de laves. Il eut, en 1530, une violente éruption. En 1804, il vomit une énorme quantité de cendres et de fumée. Son cratère a une demi-lieue de circonférence, à ce qu'on dit; mais il est à présent inaccessible.

Jorullo ou Xorullo. — Le plus moderne de ces volcans, puisqu'il parut en 1759. Nous reviendrons plus loin sur les circonstances de son soulèvement. Ses éruptions ont continué sans interruption jusqu'en février 1760; il a maintenant moins d'activité. MM. de Humboldt et Bonpland descendirent dans le cratère embrasé, jusqu'à 238 pieds de profondeur perpendiculaire, sautant sur des crevasses qui exhalaient de l'hydrogène sulfuré enflammé; ils parvinrent, après beaucoup de dangers, à cause de la fragilité des laves basaltiques et siénitiques, presque jus-

qu'au fond du cratère, où l'air était surchargé d'acide carbonique ³.

Colima. — C'est le plus oriental de tous. Il fume souvent et ne vomit maintenant que des cendres. Il a 8,619 pieds de haut, d'après l'estimation de don Manuel Abad ⁴. Dampier, qui le vit en éruption, dit qu'il a deux bouches cratériformes, qui étaient alors en activité simultanément.

Outre ces volcans actifs, on en connaît beaucoup d'autres qui sont actuellement éteints, tels que :

Le Nauhcampa-Tepetl ou Coffre de Perote, au nord du pic d'Orizaba. — C'est une montagne de trachyte, de 12,534 pieds de haut, qui représente un sarcophage antique surmonté, à une de ses extrémités, d'une pyramide ⁵. Elle est entourée par des couches puissantes de ponce et des coulées de lave. Son sommet ne renfermant pas de cratère, elle a dû nécessairement avoir des éruptions latérales.

L'Iztacci-Huatl (ou *Femme-Blanche*, la *Sierra-Nevada* des Espagnols), au nord et sur la même chaîne que le volcan de la Puebla, a 14,750 pieds.

Le Nevado de Toluca a 14,220 pieds. Il a été gravi, le 24 mars 1826, par M. Burkart ⁶. Son sommet, formé de trachyte, est escarpé et entouré d'un cratère qui contient deux lacs; il a un quart de lieue de diamètre, et sa profondeur, depuis le bord supérieur jusqu'au niveau de l'eau, est de 1,155 pieds de roi; la partie la moins basse à l'est en a au moins 550. L'eau des lacs n'a aucun goût particulier; cependant elle dépose du soufre sur le rivage.

Nous terminerons ici cette sorte de revue des volcans qui sont de nos jours en activité. On reconnaîtra facilement que les principales sources où nous avons puisé ces renseignements sont les immortels travaux de M. de Buch et de M. de Humboldt, ainsi que les savantes recherches de M. Girardin, qui avait lui-même traduit une partie des mémoires de M. de Buch avant la traduction récente de M. Boulanger. Nous avons cru nécessaire de

¹ L. c., tab. 17.

² *Tableau des régions équatoriales*, p. 148. — *Œuvres et Monuments*, p. 255.

³ HUMBOLDT, *Nov. Esp.*, t. II, p. 290.

⁴ *Idem*, p. 309.

⁵ *Idem*, *Œuvres et Monuments*, pl. XXXIV.

⁶ *Korsten's Arch.*, t. XV.

rapporter un grand nombre d'exemples d'éruptions volcaniques, afin que l'on puisse se faire une idée juste de la puissance actuelle du feu central ou de l'intensité des forces agissantes intérieures. Nous avons rapporté des faits sans chercher à en déduire des théories, parce que les faits sont incontestables et forment la base d'où il faut partir pour lier ensuite les phénomènes géologiques et remonter par l'analogie, à l'explication de ceux

qui ne se produisent pas sous nos yeux.

C'est à dessein que nous avons omis de rappeler dans les pages précédentes toutes ces apparitions d'îles nouvelles qui ont lieu si fréquemment sur la terre; leur récit va commencer le chapitre suivant, entièrement consacré aux soulèvements contemporains, ainsi qu'à ceux qui ont contribué à donner à la surface du globe, le relief qu'elle présente aujourd'hui.

CHAPITRE VINGT-CINQUIÈME.

DES SOULÈVEMENTS.

Les nombreuses descriptions que nous venons de reproduire sur les tremblements de terre et les éruptions volcaniques, ne peuvent laisser aucun doute dans notre esprit sur l'intensité des forces intérieures qui, de temps en temps, se manifestent à la surface. Nous voyons en effet très-souvent de nouvelles îles s'élever au-dessus des eaux, de nouvelles montagnes surgir au milieu des plaines, d'autres s'enfoncer tout à coup. La surface de la terre peut ainsi être modifiée de différentes manières, et si, par la pensée, nous augmentons l'intensité de ces forces volcaniques, il nous paraîtra vraisemblable que la plupart des montagnes et des grandes chaînes ont dû se former de la même manière de dedans en dehors, et à des époques entièrement différentes. Nous voyons bien aussi des montagnes qui sont évidemment les restes de terrains corrodés par des cours d'eau; mais ces inégalités du sol sont si petites et si peu étendues, relativement à ces grands systèmes de montagnes qui traversent les continents, que l'on ne peut nier, dans l'état actuel de nos connaissances, que les montagnes aient été créées par soulèvement. Lors même que certaines vallées paraissent simplement l'ouvrage des eaux courantes, il est encore présumable qu'une fissure produite par une dislocation

antérieure a déterminé le point d'érosion et a, pour ainsi dire, tracé la marche du cours d'eau.

Comment d'ailleurs expliquer la présence de coquillages marins enfouis dans des couches calcaires, à des hauteurs égales à celle du mont Blanc? Comment supposer que la mer ait pu atteindre à une si prodigieuse élévation? Comment, d'ailleurs, concilier la création de ces dépôts dans une mer profonde, avec l'inclinaison des couches qui les composent? De quelle manière se reudra-t-on raison des nombreuses dislocations du terrain et de ces longues séries de montagnes, dont l'âge et la direction semblent coïncider? Il faut, pour expliquer toutes ces anomalies apparentes, considérer comme une vérité démontrée que les montagnes ont pour première origine de grandes dislocations du sol, déterminées par l'intensité des forces intérieures et par l'action de la partie incandescente du globe sur la croûte solidifiée.

L'idée de considérer les montagnes comme produites par soulèvement est loin d'être neuve; elle a été émise dès que l'on a cherché à deviner les causes des grands phénomènes de la nature, mais elle n'était appuyée sur aucune observation positive. Aujourd'hui les faits se réunissent en une énorme masse pour

soutenir cette idée. Les travaux de deux grands géologues, M. de Buch et M. Élie de Beaumont, tout en dénudant la vérité de cette théorie, ont montré la véritable route à suivre dans les recherches de ce genre et ont donné, par conséquent, une face nouvelle à la géologie.

Les soulèvements qui ont donné à la terre le relief qu'elle offre aujourd'hui, peuvent être rangés en deux grandes divisions : ceux qui se développent autour d'un centre ; ceux qui s'étendent le long d'une ligne. Ces deux sortes de soulèvements peuvent se combiner, et plusieurs centres peuvent suivre la même direction et dépendre d'une grande ligne.

On voit que ces deux modes de dislocation du sol sont déjà indiqués dans le chapitre précédent, par la division des bouches ignivomes en volcans centraux et volcans alignés.

Les soulèvements centraux, plus connus sous le nom de *cratères de soulèvements*, ont été soigneusement étudiés par M. de Buch ; et, chose fort singulière, leur existence est encore contestée par quelques géologues qui admettent pleinement la théorie des soulèvements en ligne, comme si l'admission d'une théorie n'entraînait pas celle de l'autre. M. de Beaumont a publié sur ces derniers des mémoires du plus haut intérêt.

Nous allons d'abord passer en revue quelques soulèvements contemporains et incontestables, et nous verrons si en nous éloignant insensiblement de l'époque actuelle, nous parviendrons, sans perdre le fil de l'analogie, à expliquer des phénomènes si éloignés des temps géologiques modernes.

SOULÈVEMENTS DES TEMPS HISTORIQUES.

Les nombreux volcans qui existent sur la terre nous donnent tous les jours des exemples de montagnes qui s'élèvent ou s'abaissent ; mais ce n'est qu'à la suite des siècles que ces différences s'aperçoivent, et, du reste, leur élévation est due à des matières qui sont rejetées par leur orifice et qui s'accumulent lentement. Ils nous offrent des *éruptions* et non des *soulèvements*. On a vu cependant les forces volcaniques produire de véritables soulèvements, et pour convaincre les personnes qui en douteraient, nous allons rapporter quelques exemples.

Un des plus récents est celui de l'île Julia, qui apparut, il y a quelques années, non loin des côtes de la Sicile. M. Prévôt en a lu la description à l'Académie des sciences.

« L'apparition de la nouvelle île fut précédée de tremblements de terre nombreux et prolongés qui se manifestèrent vers la fin du mois de juin et qui furent ressentis sur une étendue de plus de 40 lieues, les uns en mer, par les navigateurs, et les autres le long des côtes méridionales de la Sicile. Ces secousses du sol, le plus souvent dirigées du sud-ouest au nord-est, furent souvent accompagnées de bruits très-forts, que les habitants comparaient à une longue caougnade entendue de loin. »

Plusieurs jours avant les premières éruptions, la surface de la mer paraissait bouillonnante ; les eaux étaient troubles et couvertes de poissons morts qui, souvent, ont été observés jusqu'à plus de 10 lieues du point central de tous ces phénomènes préliminaires. »

Les éruptions proprement dites ont commencé aux premiers jours de juillet, par des vapeurs légères, qui, peu à peu, augmentèrent et finirent par former une colonne de 1,300 à 2,000 pieds de hauteur, sur 60 à 100 pieds de largeur. Ces vapeurs, chargées d'une odeur sulfureuse prononcée, s'élevèrent d'abord seules, puis furent mêlées de cendres et de fragments de scories, dont la projection était intermittente et accompagnée de jets lumineux et d'éclairs qu'on a présumé être dus à un dégagement abondant de fluide électrique. C'est à la suite de ces projections multipliées de matières incohérentes et souvent incandescentes que les premières proéminences se sont montrées un peu au-dessus du niveau de la mer.

La formation de l'île fut progressive comme les projections de matières. Plusieurs proéminences isolées se dessinièrent d'abord d'une manière très-nette ; bientôt elles s'accrurent de plus en plus, et leur réunion finit par former autour du centre d'éruption, un bourrelet de matières meubles, dont la forme changea continuellement, et qui, par des additions superficielles, s'éleva graduellement jusqu'à 200 pieds au moins, depuis sa base jusqu'au sommet. La masse de l'île n'offrait qu'un amas cratériforme de cendres, de sable pyroxéniques et de scories ordinaires, sans apparence

d'aucune coulée de lave, et bien moins encore de strates de roches solides et continues, que l'on aurait pu considérer comme un fond de mer soulevé en masse, soit continue, soit crevassée.

Enfin, après des éruptions intermittentes, semblables en tout aux précédentes, et qui ont duré depuis le milieu du mois de juillet jusqu'à la fin de septembre, l'île disparut insensiblement et successivement comme elle avait apparu, mais par une cause différente. Ce ne fut en effet ni par effondrement de sa masse, ni par abaissement insensible du sol sous-marin, mais par l'action des vagues qui, après avoir modifié le contour des bases du cratère, pendant les éruptions, continuèrent à saper les mêmes bases de tous côtés, provoquèrent l'éboulement successif des cendres, des rapilli et des scories incohérentes dont il était composé, et rasèrent définitivement ce frêle édifice en moins de deux mois de temps ¹.

M. Girardin a réuni plusieurs faits du même genre dans son savant mémoire sur les volcans.

« Les célèbres îles de Délos et de Rhodes, dit Pline le Naturaliste, sont, d'après ce qu'on rapporte, nées dans les flots; ensuite on en a vu paraître de plus petites, telles qu'Anaphé, au delà de Mélos; Nea, entre Lemnos et l'Hellespont; Alone, entre Lébédos et Théos; Théra et Therasia, au milieu des Cyclades, la quatrième année de la 135^e olympiade; Hiéra ou Automaté, située entre les deux précédentes, et formée cent trente ans après. De notre temps, cent dix ans après, sous le consulat de M. Junius Silanus et L. Balbus, le 8 avant les Ides de juillet (l'an 19 de notre ère), a paru Thia ². »

L'île de Théra, depuis nommée Sainte-Irène, et enfin Santorini, est célèbre par le grand nombre d'éruptions qui se sont succédé autour d'elle et qui l'ont successivement agrandie. Voici en abrégé l'énumération des diverses révolutions qui ont eu lieu dans cette partie de l'Archipel :

La 4^e année de la 135^e olympiade, c'est-à-dire deux cent trente-six ans avant Jésus-Christ, l'île de Therasia (aujourd'hui Aspro-

nysi) sortit du sein des flots et au milieu des feux. Un détroit d'une demi-lieue la sépara de Santorini. Cent trente ans après, l'an 106 avant Jésus-Christ, naquit près d'elle l'île Automaté, qui, depuis, ayant été consacrée à Vuleain, fut plus connue sous le nom d'*Hiéra* (Sacrée). Après un laps de cent dix ans, l'an 4 de l'ère chrétienne, il se forma semblablement une troisième île nommée Thia, à deux stades ou deux cent cinquante pas d'*Hiéra* ¹. L'an 726, il y eut de violentes éruptions de cendres, de roches enflammées et d'une grande quantité de laves, qui réunirent Thia à Hiéra. En 1427, cette île s'accrut encore, toujours avec les mêmes phénomènes. Un marbre élevé près de la porte du fort Scarus ou Scauro, dans Santorini, atteste l'événement et sa date. Une sixième éruption, en 1570, donna une île nouvelle qu'on appela la Petite-Kameni, c'est-à-dire *Île Brûlée*. En 1650, une éruption violente, qui dura près d'une année, tourmenta de nouveau ces parages. Le père Kircher a fait connaître tous les détails de cette éruption qui se fit ressentir au loin, puisque Smyrne et Constantinople furent incommodées des cendres qui s'élevaient échappées, dans des tourbillons de flammes, du sein des eaux. Le 23 mai 1707, au lever du soleil, on vit en mer, à une lieue des côtes de l'île de Santorini, un rocher flottant. Des matelots le prirent pour un bâtiment qui allait se briser, et ils se dirigèrent vers lui dans l'intention de le piller. Arrivés auprès, et ayant vu ce que c'était, ils eurent le courage d'y descendre, et ils en rapportèrent de la pierre ponce et quelques huttes qui y étaient adhérentes. Au bout de quelques jours, il forma une petite île dont la grandeur augmenta de jour en jour. Le 14 juin, elle avait huit cents mètres de circuit et sept à huit de haut; elle était ronde et formée d'une terre blanche et légère. A cette époque, la mer commença à s'agiter, et il se fit sentir dans l'île une chaleur qui en empêcha l'accès; une forte odeur de soufre se répandit tout à l'entour. Le 16 juillet, on vit paraître tout près dix-sept à dix-huit rochers noirs; le 18, il en sortit pour la première fois une fumée

¹ *Institul*, 4^e année, p. 74.

² PLIN. liv. XL, chap. 88 et 89.

¹ Voyez PLIN; loc. cit.; STRABON, liv. I; SÉNÉQUE. *Quest. nat.*, II, c. 26, et VI, c. 21.

épaisse, et on entendit des mugissements sonnerains; le 19, le feu commença à paraître, et son intensité augmenta graduellement. Dans les nuits, l'île semblait n'être qu'un assemblage de fourneaux qui vomissaient des flammes. Son volume s'accroissait, et l'infection devint insupportable à Santorini. La mer bouillonnait fortement, et jetait sur les côtes des poissons morts; les bruits sonnerains étaient semblables à de fortes décharges d'artillerie; le feu faisait de nouvelles ouvertures, d'où il sortait des pluies de cendres et des pierres enflammées qui retombaient quelquefois à plus de deux lieues de distance. Cet état de choses dura pendant un an¹.

En 1767, une nouvelle éruption eut lieu entre la Petite-Kameni et la Grande-Kameni (*Hiera*). Elle commença avec le mois de juin, et, après dix ou douze jours de travail, une île nouvelle sortit dans le voisinage de la Petite-Kameni. Pendant quatre mois, des phénomènes terribles se succédèrent : des portions considérables de la Petite-Kameni furent englouties; mais d'autres se formèrent, et enfin une seconde île apparut et vint se réunir à celle produite en juin. On la nomma l'*Île Noire*, de la couleur de son sol. Jusqu'à la fin de mai de l'année suivante, le travail sonnerain continua, et, le 13 avril, il y eut une éruption de grosses pierres enflammées qui s'abattirent à deux milles de distance².

Les Açores, découvertes dans le quinzième siècle, sont toutes de nature volcanique, et ont présenté, à diverses époques, les mêmes phénomènes que l'Archipel grec. Quatre éruptions, qui ont eu lieu dans un intervalle de cent soixante-treize ans, très-près de Saint-Michel, la plus grande des îles de ce groupe, ont prouvé l'existence en cet endroit d'un volcan sous-marin. Le 11 juin 1658, pendant un violent tremblement de terre, on vit, non loin de Saint-Michel, des flammes et des bouf-

fées de fumée sortir de la mer agitée; des matières terreuses et des blocs de rochers, lancés en l'air, retombaient dans la mer, où ils surnageaient, et peu après il se forma une île qui avait deux lieues et demie de long et plus de trois cent soixante pieds de haut. Elle ne tarda pas à disparaître complètement³. Le 31 décembre 1719, à la suite d'un grand tremblement de terre et des symptômes les plus effrayants, il en naquit une nouvelle entre Terceira et Saint-Michel; elle jetait beaucoup de fumée, de cendres et de pierre ponce; un torrent de lave enflammée descendait de ses flancs escarpés; le fond de la mer voisine fut trouvé très-chaud. La hauteur de l'île qui était d'abord assez considérable pour qu'on pût l'apercevoir à sept ou huit lieues en mer, baissa bientôt au point qu'en 1722 elle était déjà à fleur d'eau; elle disparut complètement le 17 novembre 1723. On dit que cette île était à douze milles et demi marins de la terre⁴. Le capitaine Forster a laissé une description de cette dernière éruption⁵. Pendant les mois de juillet et d'août 1810, Saint-Michel souffrit de violents tremblements de terre; le 31 janvier 1811, une secousse très-violente, et bientôt après une très-forte odeur sulfureuse, annonça la rupture du sol du côté est de l'île, vis-à-vis le village de Ginetas, à deux milles anglais du rivage. De la fumée, des cendres, de l'eau et des terres furent projetées hors de la mer; la fumée s'élevait par grandes masses, à quelques centaines de pieds, et les pierres étaient lancées au-dessus jusqu'à deux mille pieds. Lorsque ces dernières sortaient de l'eau, elles étaient toutes noires; mais aussitôt qu'elles dépassaient les colonnes de fumée, elles devenaient incandescentes. L'éruption dura ainsi pendant huit jours; alors elle cessa, et on vit à sa place un banc contre lequel se brisaient les flots de la mer,

¹ *Mémoires de l'Académie des Inscriptions*, t. III; et *Mémoires de l'Académie des Sciences*, année 1708.

² Voir, pour plus de détails, la dissertation de M. Raspe, intitulée : *Specimen Historiæ naturalis Globi terræquæ, præcipuè de novis à mari natis insulis*; in *Chorographie de la Grèce*, par M. de Choiseul, au tome X. de sa *Géographie universelle*, et les plans de ces îles et du golfe, dans le *Voyage pittoresque de la Grèce*, par M. de Choiseul.

³ *Wicquifort's Mandelsloh*, t. II, p. 707; COBDETTO, *Historia des ilhas adjacentes Portugal*, p. 140; KIRCHER, *Mund. subterr.*, t. I, lib. II, cap. 12, p. 83; GASSENDUS, de *Vita Epicuri*, l. II, p. 1050.

⁴ D'ANVILLE, *Carte d'Afr.*, 1749; FLEURIEU, *Flora*, t. I, p. 365; AUBRIER, *Voyage*, Londres, 1755, p. 28; DE MONTAGNAC, *Mém. de l'Académie des Sciences de Paris*, 1722, p. 12; COBBOUCHI, *Comment. Bonon.*, t. I, p. 205.

⁵ *Mémoires de l'Académie des Sciences*, année 1721; *Phil. transact.*, 1722, t. XXXII, p. 100.

là où auparavant on ne trouvait le fond qu'à 60 ou 80 brasses. Une seconde éruption eut lieu, le 15 juin de la même année, à deux milles et demi anglais, à l'est de la première, et à un mille de terre, vis-à-vis le Pico das Camarinhas; alors parut une île qui avait un mille de tour et trois cents pieds de haut. Elle consistait en un cratère d'une forme agréable, qui présentait une ouverture vers le sud-est, d'où sortait de l'eau chaude qui se rendait dans la mer. Le capitaine Tillard, qui visita cette île, le 4 juillet, et l'appela *Sabrina*, du nom de son bâtiment, dessina cette vue telle qu'on l'apercevait du rivage, ainsi que le plan et la perspective de cette île merveilleuse¹. Le consul anglais Read a fait connaître qu'en octobre cette île avait commencé à disparaître peu à peu, et que, vers la fin de février 1822, on ne voyait plus que de la vapeur sortir de temps en temps de la mer, à l'endroit où l'île avait précédemment existé.

Le singulier Porto de Itheo, près Villafraña, ressemble en tout à *Sabrina*, et paraît avoir la même origine. Les vaisseaux y mouillent au milieu du cratère, et y entrent par cette crevasse propre à tous les cratères semblables. Les bords de ce cratère s'élèvent à 4.000 pieds, et sont formés de tuf, et non de substances compactes, dans lequel des morceaux de lave, de scories et de ponce se trouvent mélangés².

Pendant le grand tremblement de terre de 1757, qui bouleversa l'île de Saint-George ou São-Jorge, et fit périr quinze cents personnes, ou un septième de la population, on vit, selon plusieurs témoignages authentiques, mais peu circonstanciés, dix-huit îlots sortir de la mer à 500 toises du rivage³.

Selon une tradition portugaise, très-obscurément vraie, l'île entière de Corvo serait sortie de la mer à la suite d'une éruption volcanique.

Le capitaine Kotzebue a donné les détails suivants sur la formation subite d'une île dans

le voisinage d'Umnak, une des îles Aléoutiques, dans la région nord-ouest de l'Amérique⁴. Le 7 mai 1796, M. Krinckhoff, agent de la compagnie russe-américaine, se trouvait sur la pointe nord-est de Umnak; une tempête soufflant du nord-est ne permettait pas de voir en mer. Le 8, le temps s'éclaircit; on vit, à quelques milles du rivage, une colonne sortir de la mer, et, vers le soir, quelque chose de noir s'éleva au-dessous de la fumée. Pendant la nuit, il sortit du feu de la même place, quelquefois avec une intensité telle qu'à dix milles du lieu de l'éruption on distinguait parfaitement tous les objets. Alors un tremblement de terre, accompagné d'un bruit effroyable, qui fut réfléchi par les montagnes du sud, ébranla tout le sol; l'île naissante lança des pierres jusque sur Umnak. Le tremblement de terre cessa au lever du soleil; le feu diminua, et on vit paraître la nouvelle île, d'une couleur noire et d'une forme conique. Un mois après, M. Krinckhoff la revit: elle était plus élevée; pendant tout ce temps elle n'avait cessé de vomir du feu. Depuis cette époque elle paraît encore avoir acquis en circonférence et en hauteur; mais les flammes ont été en diminuant. Elle ne lançait plus ordinairement que des vapeurs et de la fumée; quatre ans après, celle-ci même disparut. Enfin, huit ans plus tard, en 1804, des chasseurs visitèrent cette île; toutes les eaux étaient à une température élevée, et le sol si chaud que, dans beaucoup d'endroits, il était impossible de marcher dessus. Un Russe dit que sa circonférence, qui avait encore augmenté, était de deux milles et demi; son élévation de trois cent cinquante pieds; que le fond de la mer était parsemé de pierres jusqu'à une distance de trois milles. Depuis le milieu de la hauteur jusqu'au sommet, il trouva le sol chaud, et la vapeur qui sortait du cratère lui parut d'une odeur agréable (peut-être à cause du pétrole). A quelques centaines de brasses au nord de l'île, se trouve un rocher élevé, en forme de colonne, qui avait été vu par Cook et ensuite par l'amiral Saritschew. Son élévation, si on la compare à sa circonférence, est vraisemblablement plus considérable qu'on ne vient de l'indiquer; elle

¹ *Philosoph. Transact. of the royal Society of London*, for 1812, p. 152.

² On voit un dessin de *Porto de Itheo* dans l'*History of the Azores*, 1815, p. 80 et 82, de Thomas Ashe, et sur la belle carte de *Saint-Michel*, du consul Read, Londres, 1808.

³ *Mercur de Madrid*, décembre 1757.

⁴ *Endeck Reise*, t. II, p. 106.

devrait être de quelques milliers de pieds : aussi Langsdorff dit qu'elle paraît d'une hauteur moyenne. Lorsque ce voyageur l'aperçut, le 18 août 1806, on voyait sur sa partie nord-ouest quatre cônes disposés en échelons; le plus grand avait de tous côtés la forme d'une colonne et s'élevait perpendiculairement¹. Elle fut encore visitée, en avril 1806, par des voyageurs partis d'Unalashka (Elle est évidemment située à quarante-cinq werstes à l'ouest de la pointe septentrionale de cette île). On employa six heures pour en faire le tour en ramant, et un peu plus de cinq heures pour arriver en droite ligne du rivage au sommet du pic. Il brûlait du côté du nord, et il en sortait une lave molle qui coulait depuis le sommet jusque dans la mer. Du côté du sud, le sol était froid et plus uni. On remarquait sur les flancs de la montagne beaucoup d'ouvertures et de crevasses lançant de grandes quantités de vapeurs qui déposaient du soufre. On s'apercevait encore, à cette époque, que l'île continuait à croître en circonférence et le pic en hauteur.

Vers la fin de l'année 1780, à dix lieues de Reikianess, sur la côte sud-ouest de l'Islande, des flammes sortirent pendant plusieurs mois de la mer, et on vit une île s'élever. Cette île jeta des flammes et des pierres ponceuses; mais elle disparut bientôt. Aussitôt que ces flammes cessèrent, la grande éruption de Skaptar-Jökul eut lieu. Pendant ce temps, une grande quantité de ponce fut lancée sans interruption sur les rivages de Guldbringa et du Snafjall-Sýssel².

Le Kamtschatka a été témoin, à plusieurs reprises, de phénomènes semblables; la dernière éruption connue est celle du 10 mai 1814, qui donna naissance à une petite île qui vomissait du bitume par plusieurs ouvertures³.

Le Japon a donné lieu aussi à des phénomènes analogues.

« Dans le district d'*Aso*, dans l'intérieur du Fogo, est le volcan *Aso-Noyama*, qui jette des pierres et des flammes; celles-ci sont de couleur bleue, jaune et rouge. Enfin, la pro-

vince la plus méridionale du Kioussiou, nommée *Satsouma*, est entièrement volcanique et imprégnée de soufre; les éruptions n'y sont pas rares. En 764 de notre ère, trois nouvelles îles sortirent du fond de la mer qui baigne le district de *Kaga-Sima*; elles sont à présent habitées. Au sud de la pointe la plus méridionale du Satsouma est *Iwo-Sima* (l'île de soufre) qui brûle perpétuellement.

Le phénomène le plus mémorable au Japon, arriva l'an 283 avant notre ère; alors un immense éboulement forma, dans une seule nuit, le grand lac nommé *Mitsou-Oumi* ou *Bira-no-Oumi*, situé à l'Omi, province de la grande île de Nifon, et auquel Kämpfer et nos cartes donnent le nom de *Lac d'Oïls*. Dans le même moment, le Fousi-Noyama, dans la province de *Sourouga*, qui est la plus haute montagne du Japon, s'éleva du sein de la terre. Du fond du lac *Mitsou-Oumi* sortit, dans l'année 82 avant Jésus-Christ, la grande île de *Trisikou-Bosima*, qui existe encore⁴.

Tout le monde sait qu'en 1558, les 28 et 29 septembre, il se forma, dans le lac Lucrino, dans les Champs Phlégréens, un volcan qui reçut le nom de *Monte-Nuovo* et qui forme aujourd'hui une montagne de huit mille pieds de circonférence à sa base et de quatre cents de hauteur. (Fig. XXVII.)

Un phénomène bien plus important et plus curieux par les détails se manifesta au Mexique. C'est l'apparition du volcan de Jorullo et de tout le terrain environnant.

Dans la nuit du 28 au 29 septembre 1759, un terrain de trois à quatre milles carrés, situé au milieu d'une plaine, entre le volcan de la Puebla et celui de Colima, à trente-six lieues des côtes et à quarante-deux lieues de tout volcan actif, se souleva en forme de vessie. Au centre d'un millier de cônes enflammés, six montagnes de quatre à cinq cents mètres s'élevèrent subitement au-dessus du niveau primitif des plaines voisines. La principale, le volcan de Jorullo, a 5,703 pieds; elle s'est élevée, en un seul jour, de 1,480 pieds.

Les éruptions de ce volcan continuèrent jusqu'en février 1760. Le bord du cratère

¹ Langsdorff's Reise, t. II, p. 209.

² MacKENZIE, Travels, p. 565; M. DE LÆVENGER, Lettre sur l'île-Nouvelle, Copenhague, 1787.

³ Annals of Philosophy, 1814.

⁴ KLAPROTH, dans HUMBOLDT, Fragments Asiatiques, tome I, p. 222.

principal atteint 4,029 pieds d'élévation. Les éruptions sont sorties d'en haut par une fente. Elles ont maintenant tout à fait cessé et c'est à peine si le volcan fume encore. (Fig. XXXVI.)

Entre les Sporades, des roches de trachyte se sont élevées du fond de la mer, et ont formé des îles semblables à celle de des Açores, qui, dans un espace de trois siècles, s'est montrée périodiquement à des intervalles presque égaux. Entre Épidaure et Trézène, près de Méthrone, dans le Péloponèse, se trouve un Monte-Nuovo, décrit par Strabon, et revu par Dodwel. Il est plus haut que le Monte-Nuovo des Champs Phlégréens, près de Baies, peut-être même plus haut que le nouveau volcan de Jorullo¹.

On connaît aussi plusieurs soulèvements tout à fait indépendants d'actions volcaniques extérieures. Nous avons déjà cité l'élévation graduelle de la côte du Chili, qui s'opéra le 19 novembre 1822, et qui fit périr un si grand nombre de coquillages adhérents aux roches qui s'élevèrent et restèrent au-dessus des eaux.

Certaines côtes de la Suède et de la Norvège s'élèvent aussi d'une manière graduelle par une cause sans cesse agissante et non instantanée comme celle qui, à plusieurs reprises, a soulevé les côtes du Chili. Des observations nouvelles semblent prouver que, par une sorte de compensation, les rivages du Groënland s'abaissent, et des cabanes construites près de l'Océan, sont maintenant recouvertes par ses eaux.

En Italie, le temple de Sérapis, près Naples, prouve que le sol peut être successivement abaissé et soulevé. Après la construction du temple, le terrain s'est affaissé au point que les colonnes portent jusqu'à la hauteur de 24 pieds des traces du séjour de l'eau marine, et ont même été sur plusieurs points attaquées par des coquillages qui peuvent creuser la pierre et s'y loger. Sans que les colonnes aient été renversées, elles sont maintenant revenues presque à leur ancien niveau; car le pavé du temple n'est plus recouvert que d'environ un pied d'eau.

Si nous avons pu, sur quelques points du globe, être témoins de ces soulèvements ac-

tuels, nous devons supposer qu'ils ont eu lieu également dans un grand nombre de contrées, depuis l'existence de l'homme sur la terre, et par conséquent à une époque que nous pouvons appeler contemporaine, si nous ne pouvons lui donner le titre d'historique. C'est ainsi que M. Murchison a observé, sur les côtes orientales et occidentales de l'Angleterre, des dépôts de sable et d'argile contenant des espèces marines encore existantes, et il pense que le sol de l'Angleterre, ou du moins ses côtes ont subi une élévation qui date d'une époque récente.

Si l'on peut découvrir, dit M. Murchison, de tels phénomènes dans cette île où les forces souterraines ont si peu d'intensité, quels résultats ne doit-on pas attendre des observations, dans les contrées où les volcans et les tremblements de terre sont si fréquents et produisent tantôt des élévations et tantôt des abaissements ?

M. Bohlave a constaté, dans la Morée, l'existence de quatre ou cinq rangs bien distincts de roches marines, dont les différents niveaux sont marqués dans les escarpements des pierres calcaires par des perforations lithotomiques dues à l'action de la mer.

Dans une des Hébrides, l'île de Jura, le capitaine Vetch décrit 6 ou 7 terrasses, ou lignes d'anciennes plages, qui paraissent s'être élevées successivement au-dessus du niveau actuel de l'Océan. La plus basse se trouve à la hauteur des hautes mers, et la plus élevée est environ à 40 pieds au-dessus. Ces terrasses, ou anciennes plages, reposent en partie sur le roc nu, et en partie sur un dépôt épais composé d'argile, de sable et de fragments anguleux de quartz; leur continuité est çà et là interrompue par les torrents des montagnes, ou par l'action de la mer sur le dépôt qui les supporte; on les voit très-bien au lac Tarbert. La largeur de cet ensemble de plages anciennes varie suivant la disposition du sol; lorsque celui-ci présente des pentes rapides, elle peut s'élever à cent yards; mais lorsque les pentes sont douces, comme sur le côté septentrional du lac, elle s'étend jusqu'à trois

¹ HUMBOLDT, *Tableaux de la Nature*, t. II, p. 165.

² Société géologique de Londres, séance du 15 février 1835.

quarts de mille du bord de la mer. Ces plages en terrasses sont formées de cailloux arrondis et polis de quartz blanc de la grosseur d'un coco; ils sont tout à fait semblables à ceux qui forment la plage actuelle au bord de l'Atlantique, dans cette partie de l'île, et, d'après leurs formes, ils doivent avoir été produits par l'action réunie des vagues et des marées. A l'appui de cette opinion, le capitaine Vetch rapporte, qu'en suivant le bord septentrional du lac Tarbert, on trouve une série de cavernes toutes situées au même niveau, et à une hauteur considérable au-dessus de la mer; et comme jamais, dans les roches de quartz des îles d'Isla, de Jura et de Fair, il n'a observé aucune autre caverne que celles qui se trouvent sur le bord de la mer, il les considère comme ayant été de même produites par l'action des vagues ¹.

M. de la Marmora a remarqué sur les rivages de la Sardaigne des terrains littoraux qui renferment des débris de poterie mélangés à des coquilles dont les identiques vivent sur la côte elle-même. Il a trouvé ces dépôts jusqu'à cinquante mètres au-dessus du niveau de la mer. Entre autres objets, il a remarqué une boule de terre cuite, de la grosseur d'une pomme, percée dans son milieu, comme pour y laisser passer une corde. M. de la Marmora croit que cette boule peut avoir appartenu à des pêcheurs qui l'employaient en guise de plomb pour lester leurs filets, lorsqu'ils voguaient au-dessus de ces lieux, qu'un changement de niveau a mis à sec ².

M. Brongniart a indiqué aussi ³ un grand nombre de localités où des dépôts de terrains tout à fait semblables à ceux qui se forment journellement sous nos yeux, se trouvent situés à des hauteurs remarquables et attestent un soulèvement récent des côtes des continents. Il cite ceux de St.-Michel-en-Lerme, dans la Charente-Inférieure, soulevés à 15 mètres, ceux de Nice à 17, ceux de Catane à 10. Il en a rencontré aussi en Écosse, sur les rives de la Clyde, soulevés de 4 à 12 mètres; mais de toutes ces observations, les plus cu-

rieuses sont celles qui ont été faites tout récemment en Scandinavie par M. Keilhau. Les traces de soulèvement que M. Brongniart avait parfaitement reconnues en Suède par la présence de balanes encore attachées aux roches de Uddevalla, à 200 pieds de hauteur, ont été reconnues aussi par M. Keilhau, dans un lieu appelé Hellesaaen, à 8 lieues environ de la côte et à une élévation de 430 pieds au-dessus des eaux. Ce savant ajoute qu'en plusieurs endroits il a retrouvé, à des distances et à des élévations plus ou moins grandes, d'anciennes lignes de rivage, dont les cailloux et surtout les coquilles encore vivantes dans les eaux et si bien conservées dans les dépôts, ne peuvent laisser aucun doute sur l'époque contemporaine de ces soulèvements. 50 espèces recueillies dans ces terrains élevés appartiennent toutes à des espèces encore existantes.

Au Spitzberg, des couches semblables à celles qui se forment sur les côtes ont été observées à plus de 20 pieds au-dessus des eaux, en sorte que toute cette partie du nord de l'Europe semble soumise à la même action intérieure.

Outre les anciennes lignes littorales et les dépôts marins, M. Keilhau cite encore comme une preuve concluante de l'élévation du sol, l'abaissement des limites de la végétation sur les hautes montagnes. On trouve des racines d'arbres où croissent à peine aujourd'hui des arbrisseaux; des forêts de pins sylvestres se terminent sur les flancs des montagnes par des lignes d'arbres verts, qui cependant sont restés debout pendant bien des siècles ⁴.

DE L'ÂGE DES SOULÈVEMENTS.

Dès qu'il est démontré que des soulèvements ont encore lieu de nos jours, il ne peut répugner d'admettre que les mêmes phénomènes se sont reproduits à des époques différentes, d'autant plus que tous les faits viennent déposer en faveur de cette hypothèse; mais avant de rechercher quelles ont été les principales époques de ces grandes actions géologiques, il nous importe de connaître les caractères au moyen desquels on peut déterminer leur âge.

¹ LARÈCHE, *Manuel de Géologie*, p. 199.

² C. A. DE LA MARMORA, *Journal de Géologie*, t. III, p. 309.

³ *Tableaux des Terrains*, p. 87.

⁴ *Institut*, 4^e année, p. 201.

La croûte solide de la terre a dû être souvent fracturée, des communications fréquentes ont dû s'établir entre l'intérieur et l'atmosphère, et de là sont résultés deux genres de phénomènes que l'on confond souvent, quoique l'un soit la cause et l'autre l'effet. Ce sont les *éruptions* et les *soulèvements*. Lorsqu'une matière solide ou gazeuse s'est fait jour pour se verser au dehors, comme le font maintenant les laves et les vapeurs des volcans, il y a eu *éruption*; mais pendant que les matières faisaient effort pour sortir, et que les croûtes cédaient, il y a eu *soulèvement*; de sorte que souvent, et peut-être toujours un soulèvement quelconque, *linéaire* ou *central*, a été déterminé par une éruption qui peut dans certaines circonstances n'être pas parvenue jusqu'au jour, à cause de la résistance de la masse soulevée. Si l'éruption s'est fait jour, le soulèvement a dû cesser, ou du moins diminuer d'intensité, comme une soupape ouverte anéantit la force d'une machine à vapeur. Cette tension du dedans au dehors s'est manifestée sur la terre à toutes les époques; sa croûte a été percée et soulevée sur une foule de points et de lignes, et il est résulté des soulèvements, des chaînes et des groupes de montagnes, des éruptions, des filons, des dykes et des massifs de roches cristallisées qui se sont injectés au milieu des terrains préexistants, ou qui les ont traversés pour se répandre à leur surface.

L'âge des montagnes soulevées devient donc très-difficile à établir. On sait que les roches cristallisées sont plus anciennes les unes que les autres: ainsi généralement le granité s'est montré avant le porphyre, celui-ci avant le basalte, cette dernière roche avant les laves modernes, et ainsi de suite; mais ces connaissances, nous ne les avons acquises qu'en comparant la position de ces roches entre elles, et avec les dépôts de sédiment. Or, c'est précisément l'étude relative de la stratification qui a permis à M. Élie de Beaumont de déterminer, comme nous le verrons par la suite, un certain nombre de ces grandes époques géologiques.

Les terrains stratifiés ou de sédiment servent de chronomètre pour toutes ces recherches. Ils offrent pour cet usage trois caractères qui, isolés, peuvent rarement induire en erreur, et

qui, réunis, équivalent à une démonstration rigoureuse.

1° Les plus anciens sont ceux qui sont situés le plus profondément, et ceux qui les recouvrent sont toujours plus nouveaux;

2° La plupart contiennent des débris de corps organisés, dont l'époque d'existence a été préalablement déterminée par l'ordre de superposition des couches;

3° Ces terrains ayant été en suspension dans l'eau, ont dû se déposer en couches plus ou moins distinctes, et sensiblement horizontales.

Une étude sérieuse de la stratification peut donc suffire pour déterminer l'âge d'une chaîne ou d'un groupe de montagne.

Lorsque nous verrons, comme dans la figure XXVIII, des couches de sédiment reposer bien horizontalement dans un bassin situé entre deux chaînes de montagnes, nous en concluons que le soulèvement de ces montagnes avait eu lieu avant le dépôt de ces couches.

Si, comme dans la figure XXXIX, les couches sont adossées d'un côté sans l'être de l'autre, nous supposons avec raison que le dépôt était formé avant le soulèvement d'une des deux chaînes, mais qu'il est antérieur à l'apparition de l'autre série des montagnes.

Si enfin des couches de sédiment se trouvent adossées en sens inverse de chaque côté d'une montagne, ou l'enveloppent en s'élevant sur ses flancs jusqu'à une certaine hauteur, on sera bien plus sûr encore que le soulèvement est postérieur au dépôt, comme dans la figure XXX.

Cette disposition prouvera qu'après le dépôt des roches de sédiment dans un vaste bassin, un soulèvement s'est opéré au milieu, a disloqué les couches préexistantes, et les a soulevées sous un angle plus ou moins aigu. Il pourra même se faire que le soulèvement ayant eu son entier effet, une éruption ait eu lieu, et ait reconvert une partie des roches de sédiment par des roches cristallisées, qui cependant presque toujours se trouvent au-dessous, excepté dans les éruptions volcaniques modernes. (Fig. XXXI.)

On conçoit aussi que le soulèvement ayant été très-intense et limité à une bande étroite, ou ayant eu lieu d'une manière inégale,

comme cela arrive le plus souvent, une partie des couches pourra être bien plus redressée que l'autre, et approcher même de la position verticale (*Fig. XXXII.*)

La science des géologues ne se borne pas à distinguer si tel soulèvement s'est opéré avant ou après le dépôt des terrains de sédiment, elle leur permet de déterminer l'âge d'une manière plus rigoureuse.

On sait, en effet, par une longue suite d'observations, par l'étude minutieuse des débris organiques, et notamment des coquilles, par l'examen des roches et des minéraux qu'elles renferment, on sait que les terrains de sédiment, loin de s'être déposés en même temps, se sont lentement succédé à des époques diverses, et le mode de cette succession est très-bien connu.

Si nous trouvons par conséquent trois sortes de terrains de sédiment, dont le dernier composé de cailloux roulés est extrêmement moderne, soulevés tous trois, et appliqués contre une montagne, nous saurons que cette montagne est une apparition nouvelle, puisqu'elle a dérangé, en sortant de la terre, des couches horizontales qui venaient de s'y déposer. (*Fig. XXXIII.*)

Mais, si au lieu de trouver toutes les couches déplacées et appliquées contre des roches nouvellement sorties, nous voyons qu'une partie seulement des terrains est relevée, et que l'autre s'étend horizontalement (*Fig. XXXIV.*), nous comprendrons de suite que le soulèvement a eu lieu après la formation du premier terrain; avant le dépôt du second: c'est comme si l'on nous disait qu'une personne que nous attendons n'était pas arrivée à midi, mais qu'elle était rendue à une heure. L'heure précise ne nous serait pas indiquée, mais notre incertitude n'aurait que des limites très-étroites.

Nous connaissons donc par ces observations le temps approximatif employé à chaque soulèvement, lorsque nous pouvons déterminer sûrement si la stratification des terrains soulevés concorde avec celle des couches qui sont restées horizontales. Ainsi la figure précédente nous offre un exemple de deux terrains de sédiment dont la stratification est discordante, et ce mode de jonction des couches nous indique qu'il s'est écoulé un laps de temps assez considérable entre le dépôt des couches soulevées et de celles qui ne le sont pas; ou, en d'autres termes, que le soulèvement de cette chaîne a détruit les circonstances sous lesquelles le premier dépôt avait lieu, et que de nouvelles existaient quand les couches horizontales se sont formées.

Si au contraire, comme dans la figure XXXV, il y a passage insensible d'un terrain vertical ou incliné à un autre horizontal, si la stratification reste concordante, on aura la preuve que le soulèvement s'est effectué, de manière à ne rien changer aux circonstances géologiques pendant lesquelles les sédiments s'opéraient.

A ces considérations générales sur l'âge des soulèvements, M. Élie de Beaumont en joint d'autres tirées de la direction, ou plutôt du parallélisme des chaînes. Ces données ne peuvent s'appliquer aux soulèvements centraux, qu'autant qu'ils sont eux-mêmes distribués en séries. M. de Beaumont pense que toutes les chaînes qui sont sorties à une même époque sont parallèles, comme le sont les grands cercles qui divisent une sphère, en se réunissant tous en deux points différents. Il considère la terre comme traversée par plusieurs systèmes de rides, qui appartiennent chacun à des époques distinctes qu'il a indiquées dans son beau travail sur les soulèvements de l'Europe.

CHAPITRE VINGT-SIXIÈME.

DES SOULÈVEMENTS CENTRAUX OU DES CRATÈRES DE SOULÈVEMENT.

Les nombreux exemples de créations nouvelles que nous avons rapportés, nous ont prouvé que des îles et des montagnes pouvaient encore s'élever de nos jours, tantôt par des soulèvements, tantôt par des éruptions, deux classes de phénomènes qu'il faut soigneusement distinguer, et dont les résultats sont bien différents. En effet, toutes les recherches qui ont été faites, toutes les mesures qui ont été prises avec quelques soins, prouvent que les éruptions, en s'accumulant pendant des siècles, ne peuvent produire que de très-petites élévations de terrains. Les matières incohérentes rejetées par les bouches volcaniques retombent presque toutes sur l'orifice dont elles sont sorties, et forment tout autour une sorte de bourrelet de scories, dont les pentes varient ordinairement de 20 à 40 degrés. Jamais ces produits ne s'étendent au loin, à moins d'être entraînés par les eaux ou par les vents, et dans aucun cas ils ne peuvent former des montagnes considérables. Les cônes à cratère, qui sont le résultat de ce mode de formation, ne présentent d'ailleurs aucune forme durable; s'ils s'élèvent par de nouvelles accumulations, ils se détruisent aussi avec la plus grande facilité, et une seule secousse peut engloutir une masse que plusieurs siècles ont formée. C'est ce que l'on voit sur l'Etna et le Vésuve, dont les cônes ne se sont pas élevés depuis plusieurs siècles, quoique leurs éruptions soient assez fréquentes. M. Élie de Beaumont vient du reste de mettre ce fait tout à fait hors de doute pour l'Etna. Il a remarqué un petit monument, la *Torre del filosofo*, situé sur la plaine même qui supporte le cône, monument qui date de plusieurs siècles, et dont la base est à peine ensevelie par les produits que lance l'Etna, tandis qu'il devrait être cou-

vert depuis longtemps si les éruptions pouvaient, comme quelques géologues le supposent, exhausser le sol d'une manière remarquable. Le Nil qui, selon M. Girard, exhausse chaque année la vallée dans laquelle il coule de 1^m 260 en mille ans, travaille bien plus efficacement, dit M. de Beaumont, à cacher sous ses alluvions les monuments de Thèbes et de Memphis, que l'Etna à ensevelir sous ses déjections la *Torre del filosofo* *. Si au lieu de former un cône de scories sur une montagne préexistante, l'accumulation des matières incohérentes se fait au milieu des eaux, il est rare que l'élévation qui en résulte ne soit pas bientôt entraînée par les vagues, et l'exemple tout récent de l'île Julia nous prouve que les îles formées par accumulation de matières, se détruisent et disparaissent presque aussitôt que l'éruption cesse de déposer de nouveaux produits sur la pente du cratère.

Les soulèvements présentent un caractère tout différent. Ils peuvent se terminer par une éruption, mais le terrain commence par se soulever et se bomber d'une manière plus ou moins prononcée.

La plupart des îles qui ont été soulevées au-dessus des flots, ont paru à la surface avant de jeter des flammes et avant que l'éruption ait pu se faire jour; et peut-être celles qui n'élèvent de temps en temps au-dessus de l'eau qu'une masse de scories incohérentes, ont-elles aussi pour origine un centre de soulèvement sous-marin.

L'action volcanique, comprimée au-dessous de la croûte solide du globe, doit nécessairement agir sur cette enveloppe pour se frayer

* ÉLIE DE BEAUMONT, Recherches sur le mont Etna. *Annales des Mines*, t. IX, p. 594.

un passage, et augmenter d'intensité, jusqu'à ce qu'elle soit capable de vaincre la résistance. C'est pendant cette action que la croûte se soulève, poussée par des matières gazeuses ou par des matières solides, qui, dans l'un et l'autre cas, peuvent se faire jour à la surface ou rester emprisonnées dans l'intérieur.

Le soulèvement le plus simple est celui qui est produit par l'émission ou la pression de matières gazeuses qui cherchent à se dégager d'une pâte molle. C'est ce que nous voyons très en petit sur quelques coulées de laves, quand elles viennent de sortir du volcan. L'accumulation des matières gazeuses soulève la croûte et forme une convexité qui se perce et laisse dégager le gaz. Les parois restent soulevées en forme de cloche et donnent naissance à une cavité, une sorte de four ou *hornitos*, comme ceux que M. Robert a observés sur plusieurs laves d'Islande. Ils ressemblaient, dit ce voyageur, à une bouteille élargie à sa base, et dont la profondeur était de 60 pieds *. Mais ceci est un exemple local, et un phénomène qui ne dépend pas directement de l'action intérieure du sol. Il n'en est pas de même des *hornitos*, observés par M. de Humboldt, autour du volcan de Jorullo, et qui forment plusieurs milliers de petits cônes soulevés par des matières gazeuses qui s'échappent ensuite par leurs fissures. Un phénomène analogue se retrouve au volcan d'Awatocha au Kamtschatka. Le dôme du volcan est couvert d'une infinité de ces petits cônes de douze pieds de hauteur et de trente pieds de circonférence, dont chacun donne issue à une fumarole d'hydrogène sulfuré.

Ces sortes de pustules se forment aussi sous de plus grandes proportions dans certaines circonstances, car tous les *hornitos* du volcan de Jorullo sont eux-mêmes distribués sur une surface de terrain bombée et soulevée en forme de vessie. On reconnaît encore aujourd'hui par les fractures des couches les limites du soulèvement. On y voit une élévation d'environ 37 pieds, qui augmente graduellement jusqu'au centre du mamelon, où elle atteint environ 290 pieds. Ce soulèvement

eut lieu tout à coup après de fréquents tremblements de terre, et au milieu de ce terrain soulevé s'ouvrit une crevasse de laquelle sortirent six buttes volcaniques, dont une, le volcan de Jorullo, répandit des laves. Voilà donc un exemple du soulèvement instantané d'un terrain qui n'offrait auparavant aucun phénomène volcanique, sur lequel d'anciennes cultures étaient établies, et que l'on ne s'attendait nullement à voir s'élever et se couvrir de bulles gazeuses à parois basaltiques. Sans l'issue que les buttes volcaniques et les nombreux *hornitos* ont données aux vapeurs, le soulèvement eût été bien plus considérable. Il se serait formé une grande montagne au lieu d'une large boursouffure. Mais aussitôt l'établissement d'un si grand nombre de soupiraux, la puissance soulevante s'est trouvée détruite. C'est peut-être à une action de cette nature, mais sans communication extérieure, qu'il faut attribuer l'émission récente du haut Daumark, de la basse Péninsule de Jutland, des Landes de la Westphalie, et le soulèvement de la Suède qui dure encore.

Il existe aussi sur la terre un grand nombre de montagnes en forme de dôme, qui ne se sont jamais ouvertes, et qui ressemblent tellement à des soufflures que l'on ne peut guère leur attribuer une autre origine. Ce sont généralement des montagnes de trachyte, telles que le Chimborazzo, le puy de Dôme, Sarcouy, etc.; elles ressemblent à de grandes boursouffures soulevées par des émanations gazeuses, et l'on peut les considérer comme telles, avec d'autant plus de vraisemblance, que quelques-uns de ces dômes se sont ouverts quelquefois, ont laissé dégager une immense quantité de gaz, des cendres, même de la lave, et se sont refermés peut-être pour toujours : c'est ce qui est arrivé, selon M. de Humboldt, au gigantesque Antisana. D'autres fois, au lieu de se refermer, la communication reste permanente, et il s'établit un volcan actif, comme cela a eu lieu pour la plupart des volcans de Quito, en Amérique, qui ne sont que des dômes trachytiques ouverts à leur sommet, et comme on le remarque aussi dans les volcans d'Auvergne, où la soufflure à travers laquelle s'est faite l'éruption a été souvent entièrement cachée par les

* ROBERT, *Voyage en Islande*; Institut, 4^e année, p. 125.

scories, ce qui n'a pas eu lieu pour les volcans d'Amérique. l'Etna paraît aussi, par sa forme en dôme légèrement aplati, une boursoufflure analogue à celles que nous venons de citer. La roche doléritique dont ce dôme est formé, a été percée à sa partie supérieure, par la sortie des matières éruptives, et en même temps une sorte d'étoilement a été déterminé par cette rupture. C'est maintenant sur les fentes, qui se dirigent toutes vers le centre du dôme, que naissent les monticules de scories et que s'échappe la lave que la force volcanique ne peut soulever jusqu'à la hauteur prodigieuse du cratère.

Ainsi, à quelques exceptions près dont l'Etna fait partie, des dômes ou des cônes de trachyte ont généralement précédé les éruptions volcaniques, et ces masses trachytiques ont été soulevées avec une force prodigieuse, puisqu'elles forment maintenant une grande partie des hautes montagnes du globe.

La montagne de Fusi au Japon, dont nous avons rapporté la récente création, serait un exemple fort curieux d'un cône presque aussi haut que Ténériffe, et qui se serait élevé d'un seul jet.

On trouve du reste, dans plusieurs relations de voyages, des écrits qui attestent que des îles se sont successivement agrandies et soulevées, comme cela est arrivé à celle qui parut en 1796 près de l'île d'Omnack, et dont nous avons donné plus haut la description. La présence du trachyte ou d'une roche analogue, comme l'andésite de M. de Buch, paraît donc être nécessaire à l'apparition de phénomènes d'éruption volcanique.

« Ce sont les trachytes, dit M. de Humboldt, qui, par leur fendillement et leurs crevasses ouvertes, semblent établir cette communication permanente entre la surface du sol et l'intérieur du globe, qui est la condition indispensable de l'existence d'un volcan. »

Ce célèbre géologue pense même que la partie est des Andes de l'Amérique n'est privée de volcans que par l'absence de cette roche¹.

Jusqu'ici nous avons supposé le soulève-

ment de chaque point volcanique sur une fracture ou fente préexistante, qui permettait à chaque petit centre d'élévation de se former sans déranger le terrain inférieur, mais il n'en est pas toujours ainsi. La force volcanique, en agissant au-dessous de la croûte solide de la terre, peut la fracturer, et c'est alors seulement qu'il se produit un véritable cratère de soulèvement, au centre duquel l'éruption peut se faire jour, quoique la chose ne soit pas nécessaire pour créer le cratère, mais seulement pour le compléter. Admettons qu'un dôme de trachyte cherche à se faire jour, comme dans la figure XXXVII, et que la force de soulèvement soit plus grande que la force de résistance; il y aura nécessairement fracture, des secousses de tremblement de terre se feront sentir, et le terrain fracturé sera ensuite soulevé (Fig. XLI); de telle sorte que le cône soulevant paraîtra au dehors, après avoir étoilé le terrain et relevé tout autour de lui les fragments qu'il aura séparés. Il en résultera une sorte de cratère, dont le centre sera occupé par le cône créateur, et dont les parois formeront tout autour de lui l'enceinte d'un grand cirque à vallées plus ou moins nombreuses, mais rayonnant d'un même centre. Ces vallées, élargies à leur origine, se rétréciront à mesure qu'elles s'éloigneront de leur point de départ, et leur profondeur devra également diminuer. Les couches soulevées offriront une pente douce au dehors du cirque et des escarpements au dedans. L'action des eaux courantes et des eaux pluviales dégradant promptement des terrains mis à nu, les angles s'adonceroient, les vallées se dégradent peu à peu, et l'on aura enfin un véritable cratère de soulèvement complet, qui, comme on le voit, ne sera pas le résultat de l'accumulation de déjections liquides ou pulvérulentes, mais qui sera formé d'un seul jet, c'est-à-dire sans discontinuité, et dans un espace de temps plus ou moins long. Rigoureusement les fractures d'un tel cratère devraient être au moins au nombre de trois, car on ne peut admettre un étoilement qui ait moins de trois fissures convergentes; mais comme le soulèvement se fait quelquefois avec lenteur, qu'il n'atteint qu'une très-petite élévation relativement à l'étendue du terrain soulevé,

¹ HUMBOLDT, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. X, p. 310.

enfin comme les roches soulevées peuvent avoir une certaine élasticité, il arrive quelquefois que les fractures sont peu sensibles, ou qu'elles sont remplacées par une infinité de petites fissures qui s'opèrent dans toute la masse, et qui permettent à la fois l'écartement et le redressement de toutes les parties, ainsi que l'injection de la matière soulevante qui se moule dans toutes ces fentes, et s'y consolide bientôt. Il se forme alors un cirque régulier, une caldéra, comme celles que l'on remarque dans le bel Atlas de M. de Buch, sur les îles Canaries, sur les cartes de Palma et de Ténériffe. Il reste cependant toujours une grande fracture vers laquelle les bords du cirque s'abaissent et par où s'échappe l'eau qui ruissèle sur les pentes intérieures. Lorsque les centres de soulèvement sont sous-marins, ils offrent alors une lagune au milieu du cratère. M. de Buch en cite un exemple fort remarquable, extrait du voyage de M. Poeppig au Chili. « Le 6 septembre 1825, le capitaine américain Thayer aperçut tout à coup une île par une latitude de 30° 14' sud, longitude 180° 33' est de Paris. Une fumée épaisse s'élevait du sommet de cette île. Les barques envoyées pour prendre connaissance de ce phénomène, trouvèrent un roc noir qui s'élevait à peine au-dessus de la surface de la mer. Il avait la forme d'un grand anneau dans l'intérieur duquel se trouvait une lagune n'ayant qu'une seule issue vers la mer. Les matelots sautèrent dans l'eau pour pousser la barque par-dessus ces bas-fonds; mais effrayés et brûlés par la chaleur de l'eau, ils cherchèrent au plus vite à regagner leurs embarcations. La fumée s'élevait par de nombreuses crevasses qui traversaient cet anneau noir. En un seul point on put voir un peu de sable, tout le reste était un roc solide. « Ce n'était donc pas, dit M. de Buch, une éruption, mais bien certainement un soulèvement, et il serait difficile de trouver un exemple plus clair et plus décidé, qui pût d'une manière plus évidente faire voir la différence qui existe entre un cratère de soulèvement et un volcan véritable qui reste en activité pendant des siècles entiers¹. »

¹ De Buch, *Description physique des îles Canaries*, p. 502.

Lorsque les bords de ces cratères sous-marins n'atteignent pas la surface de l'eau, il arrive souvent que les coraux bâtissent, en les prenant pour point d'appui, et amènent ainsi à fleur d'eau d'immenses anneaux qui n'ont qu'une seule issue. Les îles Gambier présentent, selon le capitaine Beechy, cette sorte de disposition, et renferment dans l'intérieur du cirque des montagnes de quelques milliers de pieds de hauteur, composées de basaltes et de roches particulières aux actions volcaniques.

Les îles Barren, déjà décrites, et dont nous donnons le dessin (fig. XLV), offrent de la manière la plus régulière la forme et l'apparence d'un cratère de soulèvement. Le piton central est un volcan actif aussi élevé que l'enceinte qui forme les bords de son cirque.

Le cratère de soulèvement le mieux déterminé est sans contredit celui que forme le groupe d'îles de Santorin. Nous avons décrit les divers phénomènes volcaniques qui ont paru autour de cette île célèbre. Santorin, Thérasia et Aspronisi forment le cirque du cratère. « Ce sont, dit M. de Buch, les parties essentielles d'un même tout. » Nous avons vu, en décrivant ces îles, que l'action volcanique a tenté plusieurs fois de se faire jour au centre du cratère, où plusieurs petites îles se sont soulevées, et cette action, loin d'être apaisée, continue de soulever le groupe central, qui peut-être un jour dépassera en hauteur les bords du cirque. M. Virlet, qui a publié sur les îles de la Grèce des travaux aussi savants que consciencieux, a donné dernièrement à l'Académie des sciences (30 mai 1856), une note du plus haut intérêt sur la formation toujours active de ce centre de soulèvement. Il appelle l'attention des géologues sur la probabilité de l'apparition prochainement d'une nouvelle île dans l'Archipel de la Grèce, par suite de l'exhaussement progressif d'un écueil formé de roches solides (*obédiennes trachytiques*) dans le golfe du volcan de Santorin. Voici comment il rend compte des observations qui ont été faites à ce sujet.

« Vers la fin du dernier siècle, à l'époque où Olivier visitait Santorin, les pêcheurs de l'île assuraient que le fond de la mer s'était considérablement élevé depuis peu entre la petite île Kaiméni et le port de Théra; en

effet, la sonde ne donnait plus alors que 15 à 20 brasses, là où autrefois on pouvait à peine atteindre le fond.

« Lorsqu'en 1829, M. le colonel Bory et moi nous visitâmes cette île, nous pûmes non-seulement nous assurer de la vérité du fait signalé par Olivier, mais nous reconnûmes de plus, par différents sondages, que le sol du point indiqué n'avait pas cessé depuis lors de s'élever, et qu'il n'était plus qu'à quatre brasses et demie de la surface.

« En 1830, nous fîmes de nouveaux sondages qui eurent pour résultat de nous faire reconnaître la forme et l'étendue du banc de roche qui, dans l'intervalle d'à peine une année, s'était encore élevé d'une demi-brasse. Ce banc avait alors 800 mètres de l'est à l'ouest, et 500 du nord au sud. Le fond augmentait graduellement au nord et à l'ouest, depuis 4 jusqu'à 29 brasses, tandis qu'à l'est et au sud cette augmentation allait jusqu'à 43 brasses. Après cette limite, la sonde n'indiquait plus tout autour qu'un très-grand fond.

« Je viens d'être informé que M. l'amiral de Lalande qui, depuis 1830, est retourné deux fois à Santorin, s'est assuré que l'écueil a continué de s'élever, et qu'il ne présentait plus en septembre 1833, époque de sa dernière visite, qu'un fond de deux brasses, en sorte qu'il forme aujourd'hui un rescif sous-marin dont les barques ne peuvent plus s'approcher sans danger : si cet écueil continue à s'élever d'une quantité proportionnelle, on peut calculer qu'il donnera, vers 1840, naissance à une nouvelle île, sans que les catastrophes que ce phénomène semble présager pour le golfe de Santorin soient une conséquence nécessaire de l'époque de son apparition à la surface des eaux.

« Depuis les éruptions de 1707 à 1712, qui donnèrent naissance à la nouvelle Kaiméni, les phénomènes volcaniques ont cessé complètement dans le golfe de Santorin, et le volcan parait aujourd'hui tout à fait éteint; cependant l'exhaussement d'une partie de son sol semble démontrer qu'il fait depuis environ une cinquantaine d'années de continuel efforts pour faire éruption, et que, le jour où la résistance ne sera plus assez forte pour lui faire obstacle, le volcan se remettra de nouveau en activité. »

M. de Buch pense que ce soulèvement graduel est dû à l'apparition prochaine d'un dôme de trachyte qui s'élève du fond de la mer, et qui pourra s'ouvrir et donner ainsi une issue permanente aux vapeurs qui y sont renfermées, et dont l'action continuelle produit les tremblements de terre qui renversent les villes et les montagnes de l'Achaïe et du reste de la Morée. Cet événement serait donc de la plus haute importance pour toute la Grèce.

Le trachyte parait être la roche qui, à l'époque actuelle, détermine le plus ordinairement le soulèvement de ces cirques; mais on conçoit que d'autres roches volcaniques peuvent également produire les mêmes effets. Des gaz mêmes, en cherchant à s'échapper, peuvent donner naissance d'une manière instantanée à des cirques plus ou moins étendus; il est même très-probable que plusieurs de ceux qui existent sont dus à la tension des fluides élastiques qui, après avoir été fortement comprimés par des couches solides d'une grande épaisseur, sont parvenus à les écarter et à produire l'effet d'une masse solide. L'eau, ravinant ensuite les surfaces dénudées, comble bientôt le fond des fissures, et le cirque se présente alors comme un vaste cratère sans piton central. (Fig. XLVI.)

Quelle que soit la matière soulevante, il n'en est pas moins vrai qu'il existe un grand nombre de centres de soulèvement mieux caractérisés encore que ceux que nous venons de décrire. Ce mode d'élévation des montagnes s'est présenté presque à toutes les époques, et il n'est probablement pas borné à notre planète. La lune semble offrir un bien plus grand nombre de cirques analogues, qui peut-être se multiplieront aussi sur la terre à une autre époque géologique.

L'île de Ténériffe présente un des plus magnifiques exemples d'un cratère de soulèvement; le pic de Teyde en occupe le centre, et domine une immense caldera dont les pentes extérieures sont enveloppées de basalte. La force volcanique qui s'est d'abord fait jour par l'intérieur du pic, comme au milieu d'une grande cheminée, ne se manifeste plus qu'à sa base par des éruptions analogues à celles des autres volcans. L'étude de ce grand cirque et des autres îles Canaries,

dans la savante description de M. L. de Bueh, est certainement une de celles qui peut donner au géologue les idées les plus élevées et les plus nettes sur le mode d'action des forces volcaniques.

Dans le centre de la France, deux grands cratères de soulèvement, décrits par MM. Dufresnoy et Élie de Beaumont, constituent les groupes volcaniques du Cantal et du Mont-Dore, et offrent aussi des caractères bien remarquables. En général, dans tous ces cirques, les pentes sont occupées par des roches basaltiques et le centre par du trachyte.

Peu de théories ont été aussi violemment attaquées que celle des cratères de soulèvement. Quelques géologues d'un grand mérite n'ont voulu voir dans ces larges nappes redressées qui couvrent les flancs des couches soulevées, que des coulées de laves d'âge différent, accumulées pendant des siècles et élevant successivement la base sur laquelle elles s'épanchaient; mais il est bien démontré maintenant que les laves ne peuvent pas s'arrêter sur des plans inclinés, puisque les laves modernes, en coulant sur des terrains plus horizontaux que ceux qui s'élèvent vers le centre des cratères de soulèvement, se refroidissent promptement, se brisent et se fissurent de mille manières, sans offrir la moindre trace de ces divisions prismatiques si communes et si régulières dans toutes les masses qui se sont refroidies lentement sur un plan horizontal. Il est d'ailleurs de toute impossibilité que des courants de lave, en sortant d'une bouche centrale, et en s'épanchant tout autour, aient pu former de larges nappes régulièrement disposées, au lieu de filets étroits qui auraient conduit promptement à leur pied toutes les matières liquides que leur propre poids entraînait. La formation des grandes vallées par le système d'érosion offrirait, du reste, tout autant de difficultés; on aurait bien de la peine à concevoir de cette manière les fractures étoilées, l'élargissement des vallées à leur naissance, leur profondeur et la présence des nombreuses sources minérales qui souvent profitent de ces profondes fissures pour s'échapper de l'intérieur du sol.

Ce n'est pas seulement dans les terrains volcaniques que l'on rencontre des cratères de soulèvement. Ils existent au milieu de la

plupart des roches; mais leur étude hors des terrains de cette nature est encore peu avancée. Ce n'est, jusqu'à présent, qu'avec une sorte de timidité que l'on a cité des exemples de cirques calcaires, granitiques, etc., quoique cependant ils soient assez fréquents. Ils se manifestent souvent au milieu des roches cristallisées, se présentent quelquefois d'une manière presque périodique dans les grandes chaînes de montagnes, et méritent la plus sérieuse attention. Déjà M. Roxet a étudié sous ce rapport la chaîne du Jura, et cette étude lui a prouvé que les soulèvements qui ont donné au Jura son relief actuel, n'ont point eu lieu suivant des lignes à peu près droites, mais bien suivant des courbes fermées, se rapprochant beaucoup d'ellipses allongées dont les grands axes sont dirigés sud-ouest nord-est, sans être cependant parallèles entre eux. Chacune de ces courbes limite un grand cirque dont les parois ont jusqu'à 300 mètres d'élévation au-dessus du fond. L'ensemble de tous ces cirques se trouve sur une portion de surface conique, qui n'est autre chose que la surface de toute la chaîne du Jura, dont la concavité est tournée vers les Alpes.

Avant de passer à l'examen des soulèvements linéaires, nous devons nous arrêter un instant sur une idée fort remarquable de M. Boussingault. Ce savant, faisant remarquer que le dôme du Chimboraxo est formé d'une immense quantité de blocs entassés les uns sur les autres, demande si toutes ces masses et ces débris dont les volcans des Andes se composent, ne seraient pas le résultat du fendillement et des fractures opérés par l'action qui a soulevé, en la brisant, une partie de la masse volcanique des Cordillères. Il compare ces débris à ceux qu'une pression de bas en haut ferait sortir d'un puits. Les morceaux brisés feraient plus que combler ce puits, ils formeraient encore au-dessus un dôme d'autant plus élevé que le puits serait plus profond*.

On peut faire à cette théorie une objection, assez sérieuse, c'est que plusieurs dômes de trachyte, dans différentes contrées, sont bien formés d'une seule pièce et non de débris

* BOUSSINGAULT, *Journal de Poggendorff*, 1835, p. 216.

entassés; et si ceux des Andes étaient créés comme il le suppose, il n'y aurait aucune raison pour qu'ils ne présentassent pas tous le phénomène de volcans actifs, tandis que plusieurs, et notamment le Chimborazzo, ne paraissent nullement établir une communication directe entre l'atmosphère et l'intérieur du globe.

D'un autre côté, on voit si souvent des montagnes basaltiques composées de fragments entassés les uns sur les autres et entièrement libres, qu'il est difficile d'admettre qu'elles soient dues à de simples éboulements.

Une éruption de ce genre et toute récente vient confirmer les idées de M. Boussingault. « L'île de Banda avait une grande baie sur la côte occidentale. En 1820, après une éruption volcanique, il se fit dans la mer un soulèvement, et une masse solide, composée de gros blocs semblables à du basalte, vint non-seulement remplir et combler cette baie, dont la profondeur était de 60 brasses, mais elle forma encore au-dessus de la mer des collines très-élevées et fort étendues qui entourent le pied du volcan et s'appuient contre les flancs de cette montagne.

» Aucune des matières qui composent cette masse soulevée n'a été fondue ou coulante : tous les blocs étaient crevassés et dégageaient d'abondantes vapeurs; mais ce soulèvement n'a rejeté ni rapilles, ni cendres, ni pierres poncees. Les habitants de Banda, dont les maisons se trouvent sur le revers opposé, ne s'aperçurent de ce phénomène remarquable qu'après que la plus grande partie de ce soulèvement se fut effectuée, et quand ils en furent avertis par les vapeurs et par l'échauffement des eaux de la mer. Lorsque M. Reidwardts visita cette localité en 1821, des vapeurs d'eau et de soufre se dégagnaient encore entre ces blocs entassés. Le môle élevé au milieu de la baie est formé de couches très-épaisses, qui sont inclinées des deux côtés, et dont le milieu ou la cime est recourbé en dôme. Les couches inférieures sont tout à fait compactes, les couches supérieures, au contraire, sont poreuses ¹. »

Les terrains volcaniques offrent encore un

autre genre d'accident qui a, selon toute apparence, un rapport assez marqué avec les éruptions de matières gazeuses, c'est la présence d'un certain nombre de lacs arrondis, très-profonds, à bords très-escarpés, et qui n'occupent pas, comme la plupart des amas d'eau, les points les plus bas du terrain. Il ne faut pas les confondre avec ceux qui résultent de la stagnation de l'eau dans de véritables cratères; ceux qui nous occupent sont parfois scorifiés sur le bord, mais rarement sur tout leur contour; quelquefois ils sont intacts sous le rapport volcanique, ou offrent à peine quelques traces de torréfaction. L'Italie offre un certain nombre de ces lacs. L'Auvergne a le lac Pavin, le gour Tazana, le lac de Servières.

M. Jean Reynaud a décrit aussi ceux de l'Eifel sur les bords du Rhin ². Il en a trouvé un grand nombre de grandeurs différentes et plus ou moins scorifiés sur leurs bords. Il a remarqué aussi que là, comme en Auvergne et en Italie, ces lacs sont liés aux phénomènes volcaniques, et qu'ils sont toujours situés à une petite distance de cratères ou de cônes d'éruption. Leur profondeur est telle, qu'ils sont souvent l'office de puits artésiens. L'eau arrive par en bas, et plusieurs d'entre eux donnent naissance à des ruisseaux sans paraître recevoir une seule goutte d'eau.

Quelques géologues ont pensé que ces lacs étaient dus à des effondrements de terrain; mais on ne peut concilier une telle origine avec leur profondeur. Ils doivent très-probablement leur naissance à des explosions instantanées de matières gazeuses qui ont projeté plus ou moins loin les débris du terrain soulevé. Ils doivent avoir été formés, pendant des tremblements de terre, par les gaz ou par l'eau, comme cette multitude de petits entonnoirs qui se sont ouverts en Calabre pendant les violentes secousses qui ont ravagé cette contrée. C'est le même phénomène agrandi ou modifié par l'épaisseur ou la résistance de la couche qui a été percée. (Fig. XLVII, XXIII et XXIV.)

¹ JEAN REYNAUD, sur les formations volcaniques des bords du Rhin. *Annales des Mines*, 3^e série, t. II, p. 372.

² BOON-MESCH, p. 88, cité par de Buch.

CHAPITRE VINGT-SEPTIÈME.

DES SOULÈVEMENTS LINÉAIRES.

Les grandes dislocations de la croûte de la terre semblent avoir été produites plutôt sur des lignes que sur des points particuliers qui étaient centres d'action ; car les grandes montagnes forment plutôt des chaînes que des groupes, et les soulèvements linéaires sont bien plus étendus que les *soulèvements centraux*. Il est même très-probable que ces derniers sont dépendants des autres, et que les cratères de soulèvement sont eux-mêmes alignés dans certaines directions. Ainsi, des failles ou de longues crevasses auraient précédé leur apparition et déterminé leur direction longitudinale. On ne peut nier ce mode de disposition pour les grands dômes trachytiques de l'Amérique, et M. de Buch fait remarquer qu'elle existe aussi pour de véritables cratères de soulèvement qui sont quelquefois alignés le long d'une grande faille souvent sous-marine, et dont des îles cratériiformes indiquent la direction.

M. Élie de Beaumont, sans négliger l'étude des cratères de soulèvement, s'est plus spécialement occupé de l'âge et de la direction des grandes chaînes de montagnes. Ses travaux ont le mérite de présenter un grand ensemble de vues aussi étendues qu'ingénieuses, et une masse de faits suffisante pour étayer sa théorie. MM. de Buch, Boué, Studer, Sedgwick et Murkison, Keferstein, et un grand nombre d'autres géologues, qui se sont occupés du même sujet avant et après M. de Beaumont, appuient quelquefois ses idées et les critiquent plus souvent. Nous ne pouvons, dans un ouvrage élémentaire comme celui-ci, trier la part qui revient à chacun, et d'ailleurs aucun de ces savants géologues n'a présenté sur cet objet un travail d'ensemble comme celui de M. de Beaumont. C'est donc son Mémoire que nous prendrons pour guide,

sans considérer comme parfaitement démontrées les opinions qu'il a émises sur cet objet ; car le savant professeur lui-même ne l'a publié que comme un essai destiné à la fois à prendre date et à exciter à recueillir la masse de faits indispensables pour un tel travail. Si les personnes qui l'ont critiqué avaient eu égard à cette considération, quelques-uns des reproches qui lui ont été adressés avec un peu d'amertume, auraient sans doute été adoucis ou supprimés. Les considérations publiées par M. Élie de Beaumont dans les *Annales des Sciences naturelles*, et plus développées à la suite du *Manuel de géologie* de M. de Labèche¹, sont relatives seulement à l'Europe. Les montagnes des autres parties du monde sont loin d'avoir été suffisamment explorées, pour qu'on puisse tirer des conséquences générales sur leur direction ou du moins sur l'époque de leur soulèvement.

* L'examen de la surface de l'Europe, dit M. de Beaumont, a déjà conduit à distinguer les uns des autres douze systèmes de montagnes d'âges différents et de directions généralement différentes, et à les rapprocher de douze lignes de partage observées dans la série des dépôts de sédiments. Il est bien probable que ce nombre douze, qui dans tous les cas ne serait relatif qu'à l'Europe, n'est pas définitif, car il reste encore dans la série des terrains de sédiment de l'Europe plusieurs lignes de démarcation assez tranchées, qui dans cet arrangement ne se trouvent rapprochées d'aucun système de dislocation. Peut-être quelques-unes de ces lignes de partage se lient-elles à des systèmes de fractures et de rides, qui bien qu'observables en France,

¹ Traduction française par M. Brochast de Villiers, p. 620 et suivantes.

en Allemagne, en Angleterre, n'y ont pas encore été suffisamment distingués, et restent encore confondus avec les dislocations appartenant aux autres systèmes, dans lesquels ils sont censés former des anomalies. Peut-être aussi les mêmes lignes de partage se rattachent-elles à des commotions qui n'ont eu que peu d'énergie dans les contrées qui viennent d'être citées, mais qui auront laissé des traces plus visibles dans le sol de contrées adjacentes, et dont les conquêtes que la géologie a faites récemment en Grèce, en Sicile, en Afrique, en Espagne, pourront nous aider à retrouver la trace. »

On sait que les dépôts qui se sont formés dans les eaux, ont changé de nature à des époques différentes. Aussi les terrains de sédiment sont loin d'être toujours les mêmes, et l'on y trouve superposés des dépôts qui ne se ressemblent en rien. Or, pour que ces dépôts aient ainsi changé de nature, pour que la même superposition ne se soit pas reproduite sur toute la terre, il faut de toute nécessité que des causes perturbatrices soient venues changer les bassins dans lesquels se formèrent les sédiments. Les uns ont été émergés, d'autres se sont remplis de liquides différents ou du moins ont reçu des mélanges qui ont tout à fait modifié leur nature. On ne voit guère que l'apparition successive de chaînes de montagnes qui aient pu modifier ainsi fortement la surface du sol, changer les niveaux, ronger les digues, imprimer à l'eau de puissants mouvements d'impulsion, et expliquer enfin ces phénomènes que nous offrent les terrains de sédiment ou d'alluvion. Ces grandes dislocations doivent donc se trouver en rapport avec les causes qui les ont produites, avec le soulèvement des montagnes. Ce sont ces rapports que M. de Beaumont a cherché à établir, et nous allons donner un résumé très-succinct de son travail.

Il eût été plus commode pour ceux qui commencent l'étude de la géologie, de placer celle de ces différentes séries de soulèvements après l'examen de l'âge et de la composition des terrains, mais l'ensemble des phénomènes produits par les forces agissantes, internes et externes, eût été désuni, et nous avons cru plus convenable de placer ici cet

extrait du travail de M. de Beaumont. Les personnes qui ne comprendraient pas la valeur des noms qui désignent certaines roches et quelques terrains, pourront avoir recours au Dictionnaire qui termine cet ouvrage, ou lire auparavant la description des différents terrains.

M. de Beaumont a adopté, pour désigner les douze systèmes de soulèvement, des noms qui rappellent un type naturel bien déterminé. Déjà on avait employé de semblables dénominations pour les roches. Ainsi les mots *argile de Londres*, *calcaire grossier parisien*, et un grand nombre d'autres sont depuis longtemps en usage pour désigner ces espèces de roches, bien qu'elles se trouvent dans plusieurs autres localités; mais c'est qu'à Londres et à Paris ces roches ont acquis un grand développement, et qu'en outre elles ont été soigneusement étudiées dans ces mêmes dépôts. Il en résulte des noms très-significatifs dont on peut toujours retrouver le type facilement, et qui évitent une foule de discussions qui ne peuvent avancer en rien l'étude de la géologie. Ces considérations ont engagé M. de Beaumont à prendre ainsi la partie pour le tout, et à appliquer des noms de lieux pour titres à ses différents systèmes.

1. Système de Westmoreland et de Hundsrück.

Ce système est le plus ancien de tous, c'est-à-dire qu'il comprend les premières rides que l'on puisse reconnaître à la surface de la terre, dont la croûte figée devait avoir peu d'épaisseur. Il a été indiqué par M. le professeur Sedgwick qui le regarde comme antérieur ou contemporain des dépôts du vieux grès rouge, et qui présume que le soulèvement a eu lieu par un mouvement qui n'a pas été lent et prolongé, mais soudain. M. de Beaumont le croit encore plus ancien, et il regarde comme probable que ce soulèvement a même eu lieu avant le dépôt de la partie la plus récente des couches que les Anglais nomment terrains de transition, c'est-à-dire avant le dépôt des calcaires à trilobites de Dudley et de Tortworth.

M. le professeur Sedgwick a aussi montré que, si on tire des lignes suivant les directions

principales des chaînes suivantes, savoir : la chaîne méridionale de l'Écosse, depuis Saint-Abbs-Head jusqu'au Mull de Galloway, la chaîne de grauwacke de l'île de Man, les crêtes schisteuses de l'île d'Anglesea, les principales chaînes de grauwacke du pays de Galles et la chaîne de Cornouailles, ces lignes seront presque parallèles, l'une à l'autre et à la direction mentionnée ci-dessus, comme dominant dans le district des lacs du Westmoreland.

La surface de l'Europe continentale présente plusieurs contrées montueuses, où la direction dominante des couches les plus anciennes et les plus tourmentées court aussi, comme M. de Humboldt l'a remarqué depuis longtemps, dans une direction peu éloignée du nord-est ou de l'est-nord-est. Telle est par exemple la direction des couches de schiste et de grauwacke des montagnes de l'Eifel, du Hunsrück et du pays de Nassau, au pied desquelles se sont probablement déposés les terrains carbonifères de la Belgique et de Sarrebruck. Telle est aussi celle des couches schisteuses du Harz ; telle est encore celle des couches de schiste, de grauwacke et de calcaire de transition des parties septentrionales et centrales des Vosges, sur la tranche desquelles s'étendent plusieurs petits bassins houillers ; telle est même à peu près celle des couches de transition, calcaires et schisteuses, d'une date probablement fort ancienne, qui constituent en grande partie le groupe de la montagne Noire, entre Castres et Carcassonne, et qui se retrouvent dans les Pyrénées, où, malgré des bouleversements plus récents, elles présentent encore, et souvent d'une manière très-marquée, l'empreinte de cette direction primitive.

Enfin, cette direction nord-est est aussi la direction dominante et pour ainsi dire fondamentale des feuillets plus ou moins prononcés des gneiss, micaschistes, schistes argileux et des roches quartzueuses et calcaires de beaucoup de montagnes appelées souvent primitives, telles que celles de la Corse, des Maures (entre Toulon et Antibes), du centre de la France, d'une partie de la Bretagne, de l'Erzgebirge, des Grampians, de la Scandinavie et de la Finlande.

M. de Beaumont fait remarquer que la di-

rection qui constitue cet ancien soulèvement est aussi celle que l'on remarque dans les couches et les feuillets des terrains les plus anciens.

II. *Système des Ballons (Vosges) et des Collines du Bocage (Calvados).*

Des terrains très-étendus en Europe, et déjà très-anciens eux-mêmes, ont échappé au ridement que les schistes du Westmoreland et du Hunsrück ont opéré dans la direction du nord-est au sud-ouest. D'après les principes que nous avons exposés sur l'âge des soulèvements déterminés par le mode de stratification, on prévoit que, pour indiquer l'antériorité du premier système que nous venons d'étudier, il faut que les couches qui n'ont pas été soulevées par ce premier système aient été déposées sur les tranches des couches plus anciennes déjà redressées. Or, ces mêmes assises que les géologues reconnaissent pour être du même âge, qui sont horizontales et reposent sur les tranches de terrains plus anciens déjà redressés, peuvent se trouver elles-mêmes soulevées dans une autre localité, et déterminer par conséquent l'âge de ce second soulèvement ou de ce second système de rides.

Telles sont en effet les indications fournies par les couches calcaires marneuses et arénacées avec orthocérallites, trilobites, polypiers, etc., qui se trouvent en Podolie, aux environs de Saint-Petersbourg, en Suède et en Norvège, où elles ne sont généralement que peu dérangées de leur horizontalité primitive, et celles des montagnes de Sandomirz et des collines au nord-ouest de Magdebourg.

Telles sont encore les couches de transition, si riches en fossiles, de Dudley (Staffordshire) et de Tortworth (Gloucestershire), qui paraissent avoir été déposées au pied des montagnes déjà soulevées du pays de Galles, et qui ne sont elles-mêmes affectées que par des dislocations d'un ordre plus récent. Telles paraissent être aussi une partie des couches calcaires schisteuses et arénacées du midi de l'Irlande, objet des recherches de M. Weaver, et particulièrement celles qui renferment les couches d'anthraxite sur lesquelles sont ou-

vertes toutes les mines de combustible fossile de la province de Munster, excepté celles du comté de Clare, situées dans le véritable terrain houiller.

Le terrain de transition des collines du Bocage (Calvados) et de l'intérieur de la Bretagne, a lui-même une grande ressemblance avec celui décrit par M. Weaver dans le sud de l'Irlande. Il se compose de même de couches multipliées de schistes, de granwacke, de grès quartzeux passant à des roches de quartz, d'ampélite graphique et alumineux, et de calcaire; il contient des fossiles de la même classe et présente sur les bords de la Loire, près d'Angers, ainsi qu'aux environs de Sablé et de Laval, des exploitations de combustible.

Enfin, M. de Beaumont est encore porté à rapporter à la même époque de dépôt, le terrain de schiste argileux et de granwacke contenant des couches d'anthracite, avec des empreintes végétales, peu différentes de celles du terrain houiller dont se compose en partie l'angle sud-est des Vosges, et qui paraît s'être adossé aux masses granitiques des environs de Gerardmer, de Remiremont et du Tillot, qui elles-mêmes s'étaient probablement soulevées lors de la formation des anciennes rides nord-est sud-ouest.

Les masses de sienite et de porphyre qui, dans le sud-est des Vosges forment les cimes jomelles du ballon d'Alsace et du ballon de Comté, s'allongent, de l'est, 16° sud, à l'ouest, 16° nord, et ont redressé, dans cette direction, les couches du terrain à anthracite. Le terrain houiller de Ronchamps s'est déposé au pied de ces montagnes, sur les tranches des couches redressées.

La structure de toute la partie méridionale du massif central des Vosges, depuis Plombières jusqu'à la vallée de Massevaux, est en rapport avec celle du ballon d'Alsace, et se rattache à la direction ouest 16° nord-est, 16° sud. Il en est de même de la partie méridionale du groupe central de la Forêt-Noire.

Le ballon d'Alsace s'élève à 789 mètres au-dessus de la ville de Giromagny, bâtie elle-même au niveau du terrain houiller, et le ballon de Gebweiler, situé plus au nord-est, s'élève à 935 mètres au-dessus du même point. Parmi les inégalités de la surface du

globe, dont on peut assurer que l'origine remonte à une date aussi reculée, on ne pourrait encore en citer de plus considérables.

La Lozère nous présente beaucoup plus au sud, une autre masse granitoïde allongée, à peu près dans le même sens; et comme la direction de cette masse semble avoir déterminé celle du bassin intérieur des départements de la Lozère et de l'Aveyron, dans lequel se sont déposés horizontalement le terrain houiller, le grès bigarré et le calcaire du Jura, on peut supposer que l'élevation de cette masse, soit contemporaine de celle de la sienite du ballon d'Alsace.

Ce système de rides avait concouru avec le précédent, et peut-être avec d'autres encore qui n'ont pas été étudiés jusqu'ici, à donner un relief ondulé et une structure disloquée au sol ancien, dans les inégalités duquel se sont, plus tard, déposées les premières couches de cet ensemble de dépôts que Werner avait nommés *flutz gerbiges*, et que les géologues français et anglais ont nommés *dépôts secondaires*, dépôts dont la série carbonifère forme l'assise inférieure.

III. Système du nord de l'Angleterre.

Depuis la latitude de Derby jusqu'aux frontières de l'Écosse, le sol de l'Angleterre se trouve partagé par un axe montagneux qui, pris dans son ensemble, court presque exactement du sud au nord, en s'écartant seulement un peu vers le nord-nord-ouest. Dans cette chaîne qui, étant formée entièrement par des couches de la série carbonifère, est aujourd'hui nommée la grande chaîne carbonifère du nord de l'Angleterre, les forces soulevantes semblent, en prenant la chose dans son ensemble, avoir agi (non toutefois sans des déviations considérables) suivant des lignes dirigées à peu près du S. 5° E. au N. 5° O. Ces forces soulevantes ont produit de grandes failles dont l'une forme le bord occidental de la chaîne dans le peak du Derbyshire. Elle est prolongée par une ligne antictinale dans les montagnes appelées *Western moors* du Yorkshire; et à partir de là, l'escarpement occidental de la chaîne est accompagné par d'énormes fractures, depuis le centre du Craven jusqu'au pied du Stainmoor. Une autre fracture très-considérable

passant au pied de l'escarpement occidental du chaînon du Cross-Fell, rencontre, sous un angle obtus, près du pied de Stainmoor, la grande faille du Craven. Cette dernière faille explique immédiatement la position isolée des montagnes du district des Lacs.

M. le professeur Sedgwick prouve directement, dans le Mémoire qu'il a consacré à la structure de cette chaîne, que toutes les fractures ci-dessus mentionnées ont été produites immédiatement avant la formation des conglomérats du nouveau grès rouge (*rothe todte liegende*), et il présente les plus fortes raisons pour penser qu'elles ont été occasionnées par une action à la fois violente et de courte durée; car on passe sans intermédiaire des masses inclinées et rompues aux conglomérats qui s'étendent sur elles horizontalement, et il n'y a aucune trace qui puisse indiquer un passage lent d'un ordre de choses à l'autre. Enfin, M. le professeur Sedgwick, recherchant quelle pourrait être l'origine des phénomènes décrits, indique les différentes roches cristallines qui se montrent en contact avec les roches de la série carbonifère (le *roadstone* du Derbyshire et le *schistone* du Cumberland).

M. de Beaumont ne regarde pas comme un phénomène isolé le soulèvement de cette chaîne du nord de l'Angleterre; il croit que l'on peut en retrouver d'autres indices dans la même contrée, ainsi que sur la côte que forme, en France, la limite occidentale du département de la Manche, où différentes lignes de fracture dirigées de même, dans le sens du méridien que présente le Bocage de la Normandie, doivent aussi probablement leur origine première à des dislocations de la même catégorie que celles de la grande chaîne carbonifère du nord de l'Angleterre.

Peut-être aussi des traces du même phénomène pourraient-elles être reconnues dans le massif central de la France (chaîne de Pierre-sur-Haute, chaîne de Tarare), dans les montagnes des Maures (département du Var) et dans les montagnes primitives de la Corse.

IV. Système des Pays-Bas et du sud du pays de Galles.

Les formations du grès rouge et du zechstein, déposées primitivement en couches à

peu près horizontales, au pied des montagnes du Harz, du pays de Nassau, de la Saxe, sont bien loin d'avoir conservé partout leur horizontalité primitive. Elles présentent, au contraire, un grand nombre de fractures et de dérangements, dont une grande partie affectent en même temps les formations du grès bigarré et du muschelkalk, mais dont une certaine classe ne dépasse pas le zechstein, et paraît s'être produite immédiatement après son dépôt. De ce nombre sont les failles et les inflexions variées, dirigées moyennement de l'est à l'ouest, que présentent les couches du grès rouge, du weiss-liegende, du kupfer-schiefer et du zechstein, dans le pays de Mansfeld, accidents dont M. Freisleben avait déjà indiqué que la production devait être antérieure au dépôt du grès bigarré.

Ces accidents remarquables de la stratification des premières couches secondaires du Mansfeld, paraissent n'être qu'un cas particulier d'un ensemble d'accidents de stratification qui, depuis les bords de l'Elbe, jusqu'aux petites îles de la baie de Saint-Bride, dans le pays de Galles, affectent toutes les couches de sédiment dont la formation n'est pas postérieure à celle du zechstein. Dans cette étendue de 280 lieues, toutes les couches dont il s'agit, partout où elles ne sont pas dérobées à l'observation, par des formations plus récentes auxquelles ces mouvements sont étrangers, se présentent dans un état plus ou moins complet de dislocation. Il y a même des points, comme à Liège, à Mons, à Valenciennes, sur les flancs des Mendip-Hills, où elles présentent les contorsions les plus extraordinaires, où leur profil présente, par exemple, la forme d'un Z, et des formes plus bizarres encore. Ces accidents de stratification ont pour caractère commun, que les couches se sont pour ainsi dire repliées sur elles-mêmes sans s'élever en montagnes considérables, qu'elles n'occasionnent à la surface du terrain que de faibles protubérances, malgré la complication des contorsions que les couches présentent à l'intérieur, et que les plis (ou les lignes de fracture) se sont produits, pour moitié, dans une direction parallèle à un grand cercle qui traverserait le Mansfeld, perpendiculairement au méridien de ce pays, et pour l'autre moitié, suivant les directions des dislocations que

présentaient déjà en chaque point les conches plus anciennes, affectées par des bouleversements antérieurs. Ainsi, dans la bande de terrain carbonifère, qui s'étend d'une manière presque continue, depuis le pays de la Marck jusqu'aux environs d'Arras, les couches de calcaire, de grès, d'argile schisteuse et de houille, se dirigent, tantôt presque de l'est à l'ouest, parallèlement au grand cercle ci-dessus désigné, tantôt presque du nord-est au sud-ouest, parallèlement à la stratification des terrains schisteux anciens de l'Eifel et du Hunsrück. Sur les bords du canal de Bristol et dans tout le midi du pays de Galles, on voit de même la stratification, souvent très-contournée, du système carbonifère, osciller entre deux directions : l'une courant de l'est un peu nord à l'ouest un peu sud, parallèlement à ce même grand cercle désigné ci-dessus ; l'autre courant de l'est 10° sud à l'ouest 10° nord, parallèlement à la direction des couches de schistes et de grauwacke du nord du Devonshire, qui probablement s'élevaient déjà en montagnes avant le dépôt de la série carbonifère. Malgré la grande étendue de terrains récents, qui séparent les terrains carbonifères de la Belgique de ceux des bords du canal de Bristol, et qui rend leur continuité problématique, on peut remarquer que, de part et d'autre, les contorsions qui affectent les couches, présentent des caractères communs, dont l'un, par exemple, consiste en ce que les contournements sont beaucoup plus forts dans la partie méridionale de la bande disloquée, que dans la partie septentrionale.

M. de Beaumont croit encore pouvoir rapporter à cette même catastrophe les dérangements multipliés qu'ont éprouvés les couches bouillères de Sarrebruck, avant le dépôt du grès des Vosges, qui s'est étendu horizontalement sur leurs tranches, et les mouvements moins considérables que paraît avoir éprouvés le sol des Vosges, entre le dépôt du grès rouge, qui n'y a rempli que la fond de quelques dépressions, et celui du grès des Vosges, qui s'y est élevé beaucoup plus haut, et y a recouvert des espaces beaucoup plus considérables.

V. *Système du Rhin.*

La direction de ce soulèvement est du

N. 21° E. au S. 21° O. Les montagnes qui appartiennent à ce système sont des plateaux escarpés, qui longent les bords du Rhin, à la base des Vosges, et qui se prolongent en lignes parallèles dans la direction que nous venons d'indiquer. Ce système, déjà reconnu par M. de Buch, se compose principalement de grès vosgien. A une époque à laquelle ce grès n'était encore recouvert par aucune autre roche, de grandes fractures ou une série de failles parallèles, ont rompu cette formation et placé à différents niveaux les fragments qui provenaient de cette fracture. Cette époque de bouleversement est antérieure au dépôt du grès bigarré, du muschelkalk et des marnes irisées, qui s'étendent autour de ces montagnes. Il semble que ces dernières roches se soient déposées dans une mer où les montagnes qui constituent le système du Rhin formaient des îles ou des presqu'îles. Le dépôt du plus ancien de ces trois groupes de couches, le grès bigarré, paraît avoir suivi sans interruption celui du grès des Vosges ; car, dans les points où les deux formations sont superposées, il y a passage de l'une à l'autre. Le mouvement qui a élevé le grès des Vosges en plateaux, dont le grès bigarré est venu ceindre la base, doit, par conséquent, avoir été brusque et de peu de durée.

La production des fractures qui caractérisent le système du Rhin ne paraît pas avoir été circonscrite dans les contrées rhénanes. On observe des traces de fractures analogues et semblablement dirigées, dans les montagnes comprises entre la Saône et la Loire, dans celles du centre et du midi de la France, et jusque dans les parties littorales du département du Var.

VI. *Système du Thuringerwald, du Bohmerwaldgebirge, du Morvan.*

M. de Buch a remarqué en Allemagne un système de dérangements de stratification, qui court de l'O. 40° N. à l'E. 40° S., et dont les contours sont dessinés par le terrain jurassique, déposé par conches presque horizontales, dans un ensemble de mers et de golfes. Ce dépôt n'a pas été affecté ; mais tous ceux qui lui sont antérieurs, tels que le grès bigarré, le muschelkalk et la marne irisée, que

nous avons vu tout à l'heure rester horizontaux au pied du grès des Vosges, se trouvent plus ou moins redressés, comme toutes les couches qui leur sont antérieures. Mais M. de Beaumont fait remarquer que ce mouvement doit avoir été brusque et de peu de durée, puisque, dans beaucoup de parties de l'Europe, il y a liaison entre les dernières couches des marnes irisées et les premières couches du grès du lias, ce qui montre que la nature et la distribution des sédiments a changé à cette époque géologique, sans que la continuité de leur dépôt ait été interrompue.

Ces accidents comprennent la plus grande partie de ceux que M. de Buch a groupés sous le nom de système du nord-est de l'Allemagne. Le Thüringerwald et la partie du Bohmerwald-gebirge comprise entre la Bohême et la Bavière, qui en forment presque exactement le prolongement, sont le chaînon le plus prominent de cet ensemble d'accidents, plus étendu que prononcé, et peuvent servir à donner un nom à tout le système.

En France, comme en Allemagne, on peut reconnaître les traces d'un ridement général du sol dans la direction du N. 50° O. au S. 50° E. ; mais ce ridement n'a produit, dans l'une et l'autre de ces deux contrées, que des accidents d'une faible saillie. Au centre de la France, près d'Avallon et d'Autun, on voit les premières couches jurassiques, le lias et l'arkose qui en dépend, venir embrasser des protubérances allongées, dans la direction N. 50° O.—S. 50° E., et composées à la fois de roches granitiques et de couches dérangées du terrain houiller et d'un arkose particulier, contemporain des marnes irisées. La même direction et des circonstances géologiques analogues, se retrouvent dans une série de montagnes et de collines serpentineuses, porphyritiques, granitiques et schisteuses, qui, depuis les environs de Firmy, dans le département de l'Aveyron, se dirige vers l'île d'Ouessant, en déterminant la direction générale des côtes de la Vendée et des côtes sud-ouest de la Bretagne.

VII. *Système du mont Pilas, de la Côte-d'Or et de l'Erzgebirge.*

Après le dépôt des calcaires jurassiques, il y eut un grand déplacement dans les eaux

calcarifères. De nouveaux calcaires se déposèrent encore ; mais leur nature changea ainsi que les lieux où s'opérait leur sédiment. Avant le dépôt de la craie et des grès verts, qui font partie de cette dernière formation, il dut y avoir un mouvement du sol très-prononcé pour changer des niveaux, mais assez brusque pour ne pas interrompre, sur un certain nombre de points, l'accumulation des sédiments, dont la nature cependant changea comme celle des animaux qui habitaient les eaux dans lesquelles ils s'opéraient.

Cette variation subite paraît avoir coïncidé avec la formation d'un ensemble de chaînons de montagnes parmi lesquelles on peut citer la Côte-d'Or (ou Bourgogne), le mont Pilas (en Forez), les Cévennes et les plateaux du Larzac (dans le midi de la France), et même l'Erzgebirge (en Saxe).

Ces différents chaînons font partie d'une série presque continue d'accidents du sol, qui se dirigent à peu près du N.-E. au S.-O. ou de l'E. 40° N. à l'O. 40° S. depuis les bords de l'Elbe jusqu'à ceux du canal de Languedoc et de la Dordogne, et dont la communauté de direction et la liaison de proche en proche conduisent à penser que l'origine a été contemporaine, que la formation s'est opérée dans une seule et même convulsion.

Comme on devait naturellement s'y attendre, la direction des chaînes du mont Pilas, de la Côte-d'Or, de l'Erzgebirge et des autres chaînes, qui ont pris leur relief actuel immédiatement avant le dépôt du grès vert et de la craie, a eu une grande influence sur la distribution de ce terrain dans la partie occidentale de l'Europe. On conçoit, en effet, qu'elle a dû avoir une action très-marquée sur la disposition des parties adjacentes de la surface du globe, qui, pendant la période du dépôt de ce terrain, se trouvaient à sec ou submergées. Parallèlement aux directions des chaînes que nous venons de citer, s'étend, des bords de l'Elbe et de la Saale, à ceux de la Vienne, de la Charente et de la Dordogne, une masse de terrain qui formait évidemment, dans la mer qui déposait le terrain crétacé inférieur, une presque île liée, vers Poitiers, aux contrées montagneuses, déjà façonnées à cette époque, de la Vendée, de la Bretagne, et par elles à celles du Cornouailles,

du pays de Galles, de l'Irlande et de l'Écosse. La mer ne venait plus battre jusqu'au pied des Vosges; un rivage s'étendait des environs de Ratisbone vers Alais, et le long de cette ligne on reconnaît beaucoup de dépôts littoraux de l'âge du grès vert, tels que ceux de la pente du Rhône et des hautes vallées longitudinales du Jura. Plus au sud-est, on voit le même dépôt prendre une épaisseur et souvent des caractères qui prouvent qu'il s'est déposé sous une grande profondeur d'eau. Il est à remarquer que le dépôt du grès vert et de la craie a pris des caractères différents sur les diverses côtes de la presqu'île citée ci-dessus, et ce n'est peut-être que dans le large golfe qui continua longtemps à s'étendre, entre la même presqu'île et les montagnes du pays de Galles, du Derbyshire, de l'Écosse et de la Scandinavie, qu'il s'est déposé avec cette consistance crayeuse, de laquelle est dérivé son nom général, quoiqu'elle tienne, selon toute apparence, à une circonstance exceptionnelle.

VIII. *Système du mont Viso.*

Selon M. de Beaumont, le terrain de craie qui est postérieur au système de rides précédent, peut se partager en deux assises d'âge différent, entre lesquelles aurait encore eu lieu une nouvelle dislocation du sol. Les grandes assises de craie, les grès verts en auraient été redressés, tandis que la craie blanche, la craie marneuse existeraient en couches horizontales.

La ligne de partage de ces deux systèmes de couches paraît correspondre à l'apparition d'un système d'accidents du sol que M. de Beaumont propose de nommer *système du mont Viso*, d'après une seule cime des Alpes françaises qui, comme presque toutes les cimes alpines, doit sa hauteur absolue, actuelle, à plusieurs soulèvements successifs, mais dans laquelle les accidents de stratification propre à l'époque qui nous occupe, se montrent d'une manière très-prononcée.

Les Alpes françaises et l'extrémité sud-ouest du Jura, depuis les environs d'Antibes et de Nice jusqu'aux environs de Pont-d'Ain et de Lons-le-Saulnier, présentent une série de crêtes et de dislocations dirigées à peu près

vers le nord-nord-ouest, et dans lesquelles les couches du terrain crétacé inférieur se trouvent redressées, aussi bien que les couches jurassiques. La pyramide de roches primitives du mont Viso est traversée par d'énormes failles qui, d'après leur direction, appartiennent à ce système de fractures.

M. de Beaumont ajoute quelques exemples de dislocation appartenant à cette époque, à l'île de Noirmoutiers, à Orthis, dans les Pyrénées, et dans quelques parties de l'Espagne et de la Grèce.

IX. *Système des Pyrénées.*

Les terrains de sédiment peuvent se diviser en trois étages, selon leur ancienneté. La craie termine le second de ces étages; et avant que le troisième ait commencé à se déposer, eut lieu une grande dislocation qui donna naissance aux Pyrénées. Par conséquent, toutes les roches antérieures à la craie, et celle-ci comprise, doivent être relevées sur les pentes de ces montagnes, tandis que celles qui composent les terrains de sédiments supérieurs doivent venir s'appuyer horizontalement contre leur base. C'est précisément ce que l'on remarque aussi.

Les Pyrénées forment entre la France et l'Espagne un système isolé presque de toutes parts. La direction qui y domine le détache également des systèmes de montagnes de l'intérieur de la France et de ceux qui traversent l'Espagne et le Portugal. Cette chaîne, considérée en grand, s'étend depuis le cap Ortégal en Galice, jusqu'au cap de Creus en Catalogne; mais elle paraît composée de la réunion de plusieurs chaînons parallèles entre eux, qui courent de l'ouest 18° nord à l'est 18° sud, dans une direction oblique, par rapport à la ligne qui joint les deux points les plus éloignés de la masse totale.

Cette direction des chaînons partiels, dont la réunion constitue les Pyrénées, se retrouve dans une partie des accidents du sol de la Provence, qui ont en même temps cela de commun avec eux, que toutes celles des couches du système crétacé qui y existent y sont redressées, tandis que toutes les couches tertiaires qu'on y rencontre s'étendent progressivement sur les tranches des premières.

La réunion des mêmes circonstances caractérise les chaînons les plus considérables des Apennins. Les principaux accidents du sol de l'Italie centrale et méridionale, et de la Sicile, se coordonnent à quatre directions principales, dont l'une, qui est celle des accidents les plus étendus, est parallèle à la direction des chaînons des Pyrénées. On la reconnaît dans les montagnes situées entre Modène et Florence, dans les Morges, entre Bari et Tarente, dans un grand nombre d'autres crêtes intermédiaires, et même dans deux rangées de masses volcaniques qui courent, l'une à travers la terre de Labour, des environs de Rome à ceux de Bénévent, et l'autre, dans les îles Ponces, de Palmarola à Ischia. Ces dernières masses, bien que d'une date probablement plus moderne, semblent marquer, comme des jalons, les lignes de fractures du sol qu'elles ont traversé.

X. *Système des îles de Corse et de Sardaigne.*

Nous venons de voir plus haut que la formation de craie était naturellement partagée en deux étages et que son ensemble formait la limite supérieure des terrains de sédiment moyens. Les terrains de sédiment supérieurs ou tertiaires qui la recouvrent peuvent aussi se partager en plusieurs séries. On en trouve du moins trois qui sont assez distinctes et dont la division paraît confirmée par l'apparition de plusieurs systèmes de soulèvements, dont le plus ancien, dirigé du nord au sud, correspond à la ligne de séparation entre le premier et le second étage de ces terrains, ou bien entre la formation gypseuse et le grès de Fontainebleau ou l'arkose de l'Auvergne.

Au nombre de ces soulèvements, se trouvent les chaînes qui bordent les hautes vallées de la Loire et de l'Allier, et dans le sens desquelles se sont alignés les monts Dômes, près Clermont.

C'est dans les larges sillons dirigés du nord au sud, qui séparent ces chaînes, que se sont déposés les terrains d'eau douce de la Limagne d'Auvergne et de la haute vallée de la Loire.

La vallée du Rhône qui, à partir de Lyon, se dirige aussi du nord au sud, a de même été comblée jusqu'à un certain niveau par un dépôt tertiaire dont les couches inférieures,

très-analogues à celles de l'Auvergne, sont également d'eau douce, mais dont les couches supérieures sont marines. Ici la régularité des couches tertiaires a été fortement altérée, dans les révolutions liées aux soulèvements très-récents des Alpes occidentales et de la chaîne principale des Alpes.

La même direction se retrouve dans le groupe des îles de Corse et de Sardaigne, dont les côtes présentent des dépôts tertiaires récents en couches horizontales. La ligne de direction des îles de Corse et de Sardaigne, prolongée vers le nord, traverse la partie nord-ouest de l'Allemagne, en passant à peu de distance de la masse basaltique du Meissner qui, ainsi que plusieurs autres masses de même nature situées dans les contrées voisines, se coordonne à des accidents qui courent du nord au sud, en affectant toutes les couches secondaires.

Il est assez curieux de remarquer, dit M. de Beaumont, que les directions du système du Pilas et de la Côte-d'Or, de celui des Pyrénées et de celui des îles de Corse et de Sardaigne, sont respectivement presque parallèles à celles du système de Westmoreland et du Hunsrück, du système des ballons et des collines du Bocage, et du système du nord de l'Angleterre. Les directions correspondantes ne diffèrent que d'un petit nombre de degrés, et les systèmes correspondants des deux séries se sont succédé dans le même ordre, ce qui conduit à l'idée d'une sorte de récurrence périodique des mêmes directions de soulèvement ou de directions très-voisines.

XI. *Système des Alpes occidentales.*

Les Alpes, qui forment la chaîne la plus étendue et sous tous les rapports la plus considérable de l'Europe, sont loin d'offrir l'uniformité des Pyrénées, où l'on voit un seul soulèvement imprimer à cette grande série une même direction et un grand ensemble d'allure. La chaîne des Alpes n'a pas été formée d'un seul jet, ou par la continuation des mêmes forces; elle a été créée à des époques distinctes, et doit par conséquent offrir plusieurs systèmes de direction. En effet, le relief des parties les plus hautes et les plus compliquées des Alpes, de celles qui

avoisinent le mont Blanc, le mont Rose, le Finster aar-Horn, résulte principalement du croisement de deux de ces systèmes récents, qui se rencontrent sous un angle de 45 à 50°, et qui se distinguent du système Pyrénéo-Apennin par leur direction comme par leur âge. Par suite de la disposition croisée de ces deux systèmes, les Alpes forment un coude à la banteur du mont Blanc, et après s'être dirigées depuis l'Autriche jusqu'en Valais, suivant une direction peu éloignée de l'est $\frac{1}{4}$ nord-est, à l'ouest $\frac{1}{4}$ sud-ouest, elles tournent brusquement pour se rapprocher de la ligne nord-nord-est, sud-sud-ouest. S'il n'y avait là qu'une inflexion pure et simple dans une chaîne de montagnes d'un seul jet, qui vient simplement à s'arquer, on verrait peu à peu la direction des couches et des crêtes s'infléchir pour passer de la direction de l'un des systèmes à celle de l'autre; tandis qu'on voit au contraire, le plus souvent, les directions des couches et des crêtes se rattacher assez distinctement tantôt à l'un; tantôt à l'autre, et les deux systèmes se pénétrer comme on conçoit qu'ils doivent le faire, s'ils sont le résultat de deux phénomènes entièrement distincts.

Les Alpes occidentales n'ont donc été soulevées qu'à une époque récente, entre l'étage moyen et l'étage supérieur des terrains tertiaires. Les mollasses ou grès coquilliers sont relevés sur leurs flancs, tandis que les dépôts calcaires de la vallée de la Bresse et d'une partie de l'Isère s'étendent en couches horizontales sur les couches redressées des dépôts antérieurs. Ce n'est du reste qu'à une certaine distance de la chaîne occidentale des Alpes que l'on peut observer cette disposition horizontale des couches supérieures des terrains de sédiment, car lors du soulèvement des Alpes, des dislocations antérieures, telles que celles du mont Viso, avaient déjà élevé le terrain, et les eaux s'en étaient retirées immédiatement après le dépôt de la craie. Ce n'est donc qu'aux extrémités de la chaîne ou à une certaine distance de sa base, que le sol a pu rester submergé, et que les eaux ont pu faire de nouveaux sédiments.

Les Alpes ne sont pas la seule partie de l'Europe méridionale dans laquelle les terrains tertiaires de l'étage moyen aient été

affectés par des dislocations dirigées à peu près du nord-nord-est au sud-sud-ouest, ou plus exactement parallèlement à un arc de grand cercle passant par Marseille et Zurich. Aux environs de Narbonne, commence une série de dislocations qui affectent les mêmes terrains, et qui courent sensiblement dans le même sens, déterminent la direction générale de la côte d'Espagne jusqu'au cap de Gates. Le chaînon de montagnes qui, dans l'empire de Maroc, commence au cap Très-Forcas, paraît en être le prolongement. La Calabre, la Sicile et la régence de Tunis présentent un grand nombre de dislocations et de crêtes dirigées de la même manière.

Ce n'est qu'après cette grande convulsion géologique que l'Europe a présenté un grand espace continental. Les eaux marines ont alors abandonné les bassins méditerranéens qu'elles occupaient encore, et les dépôts de couches marines ne se sont plus formés que sur les côtes ou dans les golfes de quelques contrées voisines. Mais il restait encore des lacs d'eau douce, alimentés par des cours d'eau, comme ceux que l'on remarque actuellement au pied des montagnes de la Suisse. Des couches de sable, de marne et de cailloux roulés ont fini par les combler, et l'on retrouve aujourd'hui dans ces dépôts de nombreux amas de bois fossiles, qui paraissent provenir d'espèces d'arbres, déjà assez peu différentes de celles de nos contrées. Alors vivaient à la surface de notre continent « l'hyène et l'ours des cavernes, l'éléphant vain, des mastodontes, des rhinocéros, des hippopotames, et d'autres animaux dont les espèces aujourd'hui perdues, paraissent avoir été détruites dans la révolution qui, en changeant en partie la face du système des Alpes occidentales, a donné à la masse des Alpes la forme qu'elle nous présente aujourd'hui et a achevé de façonner le continent européen. »

XII. *Système de la chaîne principale des Alpes (depuis le Valais jusqu'en Autriche).*

M. de Beaumont regarde comme la dernière en Europe, la dislocation qui a élevé les principales chaînes des Alpes; elle a eu lieu, d'après lui, à une époque très-récente, pen-

dant laquelle des terrains de transport se déposaient encore au pied de ces montagnes. Les couches visibles dans les vallées du Rhône, de l'Isère, de la Saône et de la Durance ont été redressées, tandis que les matériaux destinés à les former, et qui venaient se déposer dans ces vallées, ont été entraînés violemment par de puissants cours d'eau qui les charriaient vers la Méditerranée. On ne peut guère douter que ces courants, auxquels on a donné le nom de *diluvians*, bien que les phénomènes naturels n'offrent aucune liaison avec les miracles de la Genèse, n'aient eu pour cause le déversement des eaux de ces grands lacs et peut-être aussi la fonte subite des neiges accumulées sur la chaîne occidentale des Alpes. Quoique récente, cette irruption a probablement précédé l'existence de l'homme, mais elle a déterminé en Europe l'auéautissement de plusieurs races d'animaux, et notamment de ceux dont nous avons cité les noms un peu plus haut.

Ce système de rides a eu un très-grand développement, car on peut reconnaître que les crêtes de la Sainte-Banne, de Sainte-Victoire, du Leberon, du Ventoux et de la montagne du Poet, dans le midi de la France; la crête principale des Alpes, qui court du Valais vers l'Autriche; la crête moins haute et moins étendue, qui comprend en Suisse le mont Pilate, les deux Myten, etc., sont différents chaînons de montagnes qui, malgré leur inégalité, sont comparables entre eux, à cause de leur parallélisme et des rapports analogues qu'ils présentent avec les accidents des Alpes occidentales. Le parallélisme, l'analogie de rapports dont on vient de parler, présentent à eux seuls de fortes raisons de croire que tous ces chaînons de montagnes ont pris naissance en même temps, et ne sont que différentes parties d'un même tout, d'un système de fracture unique opéré en un moment. On pourrait tout au plus concevoir l'idée de les diviser en deux groupes, celui de la Provence et celui des Alpes, mais on en est immédiatement détourné par les rapports analogues qu'on reconnaît entre ces diverses fractures des couches et un mouvement général que le sol d'une partie de la France a éprouvé, en contractant une double pente ascendante, d'une part, de Dijon et de Bourges vers le

Forez et l'Auvergne, et de l'autre, des bords de la Méditerranée vers les mêmes contrées. Ces deux pentes opposées donnent lieu, par leur rencontre, à une espèce de ligne de faite qui est située précisément dans le prolongement de la ligne de soulèvement de la chaîne principale des Alpes. Cette ligne, qu'on voit se suivre ainsi d'une manière plus ou moins marquée depuis les confins de la Hongrie jusqu'en Auvergne, semble être en rapport avec les principales anomalies que les mesures géodésiques et les observations du pendule nous ont dévoilées dans la structure intérieure de notre continent. Il est probable que sa formation a donné, pour ainsi dire, le signal de l'élévation des cratères de soulèvement du Cantal et du mont Dore, autour desquels se sont groupés depuis les cônes volcaniques de l'Auvergne.

Les deux pentes opposées dont nous venons de parler, ne se sont produites qu'après l'existence des lacs dans lesquels s'est accumulé le terrain de transport ancien; car on peut vérifier que le fond de celui de ces deux lacs qui couvrait la Bresse et le nord-ouest du département de l'Isère, a subi un relèvement considérable du nord vers le midi, et que le fond du lac qui s'étendait entre Digne, Manosque et Barjols, a subi un relèvement plus considérable encore du midi vers le nord.

C'est à cette dernière époque de soulèvement que M. de Beaumont rapporte l'apparition d'un grand nombre de masses d'ophite, qui ont percé le sol en une multitude de points, notamment dans les Pyrénées, où elles ont été étudiées par M. Dufresnoy, et qui ont soulevé jusqu'au sable des Landes, dont l'âge se rapporte à la partie supérieure des terrains de sédiment.

Il faut bien se garder de juger le travail de M. de Beaumont sur les notes peu étendues que nous venons d'en extraire; cependant ce peu de mots suffit pour faire sentir toute l'importance de ses recherches et pour faire comprendre la haute portée de cette théorie qui donne une explication naturelle de toutes les grandes actions géologiques, qui ont agi sur la terre, depuis sa création.

M. de Beaumont a essayé d'étendre sa théorie du parallélisme des rides d'une même époque aux principales chaînes qui traversent

les autres continents; mais ce sont de simples aperçus sur lesquels il a voulu appeler l'attention des géologues. Les faits manquent pour établir de tels rapports, et nous nous con-

tenterons d'avoir exposé ses vues relatives aux montagnes de l'Europe, parce qu'elles suffisent pour faire comprendre les idées du savant géologue qui les a émises ou réunies.

CHAPITRE VINGT-HUITIÈME.

QUELQUES CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LA THÉORIE DES VOLCANS ET DES SOULÈVEMENTS.

L'action volcanique, en donnant à cette expression toute l'étendue possible, n'est pas un phénomène local, c'est une grande puissance qui agit sans cesse, qui modifie continuellement la croûte extérieure du globe, mais dont les effets ne sont sensibles pour nous qu'à certaines époques de recrudescence, où ils se manifestent alors avec une grande intensité. M. de Humboldt définit cette action : *l'influence qu'exerce l'intérieur d'une planète sur son enveloppe extérieure, dans les différents stades de son refroidissement*. C'est en effet cette action intérieure qui est la cause première des volcans, des tremblements de terre et des soulèvements. Nous l'avons déjà étudiée en parlant des eaux minérales et des tremblements de terre; mais nous devons y revenir ici, comme ayant acquis maintenant les données nécessaires pour ramener à une même cause diversement modifiée, tous ces grands faits géologiques qui viennent de nous occuper dans les chapitres précédents.

Nous ne mettrons plus en doute la chaleur centrale, qu'un si grand nombre d'expériences ont démontrée et qu'une foule de phénomènes attestent tous les jours; mais nous allons essayer d'en faire l'application à la théorie des volcans et des soulèvements.

Lorsque commença le refroidissement du globe terrestre, primitivement incandescent, les matières gazeuses, qui formaient l'atmosphère, commencèrent aussi à agir à leur point de contact avec les matières solides. Il s'éta-

blit donc une surface d'action aussi étendue que le globe lui-même et sur laquelle les phénomènes chimiques se passaient avec une activité telle qu'on peut la supposer à des matières non oxydées qui s'imprègnent d'oxygène, qui brûlent et s'oxydent sur une aussi grande étendue. L'action volcanique était donc alors à la surface entière du globe, et notre planète devait projeter une vive lumière.

Nous ignorons quels étaient à cette époque les éléments qui se trouvaient à l'extérieur du globe, mais en voyant les oxydes, nous pouvons connaître leurs radicaux, et nous savons que le silicium, l'aluminium, le calcium, etc., étaient nécessairement ceux qui dominaient, et en même temps ceux que leur moindre pesanteur spécifique avait dû laisser à l'extérieur.

Ces corps, une fois oxydés, formèrent une croûte très-mince sur notre planète; mais peu à peu elle augmenta en épaisseur, et cette croûte d'oxydes fondus dut bientôt s'opposer à l'action de l'oxygène sur la terre, en formant autour d'elle une couche impénétrable. Dès lors l'action changea et diminua d'intensité. Les corps gazeux de l'atmosphère ne purent plus agir directement sur les corps oxydables de l'intérieur, et il dut s'opérer une sorte de *cimentation*, c'est-à-dire que l'oxygène était enlevé par un corps non oxydé à la couche qui le recouvrait; celle-ci le puisait de suite dans la couche supérieure; celle-ci au-dessus d'elle, et ainsi de suite jusqu'à ce qu'enfin l'oxygène

fût puisé dans l'atmosphère. C'est un phénomène analogue à celui que présente le fer dans la fabrication de l'acier. On laisse pendant longtemps des barres de fer d'une certaine épaisseur en contact à une haute température avec du charbon. Ces deux substances ne peuvent agir qu'à leur surface de contact, le charbon ne peut pas entrer dans l'intérieur des barres de fer, et cependant il y pénètre, et le fer se change en acier, depuis la surface jusqu'au centre. Il est clair que cette combinaison se fait peu à peu et par un passage successif de molécules de charbon, par une sorte de déplacement au profit des parties intérieures, déplacement qui est tout de suite compensé par le charbon extérieur. Enfin, cette action cesse quand le morceau de fer tout entier est saturé de charbon.

Or, c'est une action tout à fait analogue qui a eu lieu sur la terre. Dès qu'une couche d'oxide a intercepté le contact immédiat de l'atmosphère, alors la céméntation a commencé et tout nous prouve qu'elle dure encore; tout nous fait présumer qu'elle continuera tant qu'il y aura dans l'intérieur du globe des matières à oxidier, tant qu'il y aura à l'extérieur des matières oxidantes.

A mesure que la céméntation et le refroidissement auront lieu, l'eau devra nécessairement pénétrer dans la masse oxidée, et celle-ci devra s'en imbiber comme le ferait une sphère d'argile desséchée que l'on plongerait dans ce liquide et que l'on aurait préalablement échauffée auparavant. La surface, qui serait la première portion refroidie, absorberait l'eau la première. L'eau absorbée par la première couche passerait bientôt dans la seconde couche refroidie. Une troisième couche s'imbiberait du liquide qu'elle prendrait à la seconde, et pendant ce temps l'eau extérieure continuerait de pénétrer. Il y aurait encore là un phénomène de céméntation; car l'eau qui finirait par arriver jusqu'au centre, aurait nécessairement passé par toutes les couches extérieures. Si, dans cette supposition, le liquide était en très-petite proportion relativement à la sphère solide, il en résulterait que toute l'eau serait absorbée sans que l'affinité de cette sphère pour l'eau fût satisfaite.

La terre se trouve encore dans la même situation. L'eau y pénètre par imbibition ou

par des fissures, à mesure qu'elle se refroidit; il doit donc y avoir à la fois diminution d'eau et d'air à sa surface. Notre époque historique est trop courte, pour que nous ayons pu nous en apercevoir encore; mais, selon toute apparence, des planètes plus petites sont déjà arrivées au point que nous atteindrons plus tard. La lune est privée d'eau et d'atmosphère, parce que probablement elle n'avait, comme la terre, qu'une couche d'eau et une masse d'air beaucoup trop petite pour qu'il y ait un reste après la saturation.

En admettant cette opinion, que les observations sont loin de démentir, l'avenir de notre planète serait gravement compromis, puisqu'elle finirait par manquer d'eau et d'air, ou du moins d'air oxidé; car rien ne nous prouve encore que l'azote soit absorbé comme l'oxidogène.

Il résulterait de cette manière de voir qu'il existe dans chaque planète qui ne serait pas complètement éteinte, une surface d'action située à des profondeurs variables pour chacune d'elles, mais que nous savons du moins être au-dessous de la surface pour toutes celles de notre système planétaire, puisque aucune, le soleil excepté, n'est lumineuse à l'extérieur.

Pour la terre, il est bien difficile de déterminer la position actuelle de cette surface d'action. Elle doit s'abaisser toujours, quoique très-lentement, et nous allons essayer de démontrer comment les phénomènes volcaniques ont toujours été en rapport avec son plus ou moins de distance de l'extérieur.

L'air et l'eau ne doivent pas atteindre la même profondeur. Cette dernière doit s'arrêter à une certaine distance qui n'est probablement pas la limite de l'air, en sorte qu'en tenant compte des affinités capillaires, qui permettent à ces deux corps de pénétrer à une assez grande profondeur, il doit encore exister deux surfaces d'action superposées, ou du moins, les réactions doivent s'opérer entre les deux limites. Nous ne savons pas maintenant quel est le genre d'action qui s'exerce à une si grande profondeur et sous une aussi forte pression; il en résulte, selon toute apparence, des matières solides oxidées, qui s'échappent naturellement des volcans sous la forme de laves plus ou moins modi-

fiées, et qui autrefois ont formé les autres roches d'épanchement, plus, des matières gazeuses qui sortent aussi par les soupiraux volcaniques, par les fentes du terrain, avec les eaux minérales, etc. Mais à l'exception des gaz qui s'échappent avec ces eaux, on ne connaît rien de la nature des émanations gazeuses des volcans en activité. On sait qu'ils laissent dégager de l'acide hydrochlorique, de l'acide sulfureux, de l'azote et de l'hydrogène peut-être carboné, ou plus souvent sulfuré, et de l'acide carbonique; mais en quelle proportion ces matières s'échappent-elles de leur bouche; et d'ailleurs a-t-on jamais recueilli les gaz pendant les paroxysmes, et sur plusieurs volcans en éruption? Il faut donc attendre des analyses faites dans les conditions convenables, et en assez grand nombre, ce qui sera toujours très-difficile à obtenir.

Les mêmes inconvénients n'existent pas pour les matières solides qui ont fait éruption à travers la croûte du globe, à différentes époques; car pour celles-ci on observe réellement des différences. Les granites, les porphyres, les sienites, les trachytes, les basaltes et les laves modernes offrent dans leur composition des différences très-remarquables, et le quartz, à l'état de pureté, semble diminuer en quantité dans toutes les roches, à mesure qu'elles approchent de l'époque actuelle. Il semblerait donc que le silicium qui a produit le quartz et qui est aussi un des corps simples solides les plus légers, était à la partie supérieure du bain de matières fondues, lorsqu'il commença de se consolider.

Il semble qu'il y ait eu aussi pour les matières gazeuses un ordre successif d'apparition; car jusqu'à présent, on n'a guère reconnu l'acide carbonique dans les éruptions volcaniques, et il est au contraire très-commun quand les volcans s'éteignent, dans les sources thermales, dans les salses, enfin chaque fois que l'action volcanique est sur son déclin ou présente peu d'activité.

Il se passe donc dans l'intérieur de la terre des actions chimiques et d'autres qui sont tout à fait mécaniques, et qui sont d'abord principalement à la vapeur d'eau; mais celle-ci seule ne saurait occasionner les grands phénomènes de dislocation ni les éruptions volcaniques, tandis que l'on peut très-bien

supposer que certaines actions chimiques produisent des matières gazeuses dont la tension détermine quelques effets dynamiques sur la croûte du globe. Cela est d'autant plus probable, que l'on voit les laves qui sont fortement comprimées avant leur sortie, être chassées et soulevées par des gaz abondants. Ces mêmes laves, quand elles sortent, se gonflent, se tuméfont et laissent encore dégager une grande quantité de gaz.

L'inégalité de refroidissement dans la partie extérieure et intérieure de la terre peut aussi contribuer aux phénomènes volcaniques. Aussi, M. Cordier les considère-t-il comme un simple effet de retrait, comme un résultat simple et naturel du refroidissement extérieur du globe, un effet purement thermométrique. La masse fluide interne, dit ce savant géologue, est soumise à une pression croissante qui est occasionnée par deux forces dont la puissance est immense, quoique les effets soient lents et peu sensibles. D'une part, l'écorce solide se contracte de plus en plus, à mesure que la température diminue, et cette contraction est nécessairement plus grande que celle que la masse centrale éprouve dans le même temps; de l'autre, cette même enveloppe, par suite de l'accélération insensible du mouvement de rotation, perd de sa capacité intérieure, à mesure qu'elle s'éloigne davantage de la forme sphérique. Les matières fluides intérieures sont forcées de s'épancher au dehors, sous forme de lave, par les événements habituels qu'on a nommés volcans, et avec les circonstances que l'accumulation préalable des matières gazeuses qui sont naturellement produites à l'intérieur, donne aux éruptions.

M. Cordier regarde comme le *maximum* de la masse des matières qui s'échappent à chaque éruption, le volume d'un kilomètre cube, masse bien peu considérable relativement à celle du globe. Répartie à sa surface, elle formerait une couche qui n'aurait pas $\frac{1}{1000}$ de millimètre d'épaisseur. En termes exacts, si l'on suppose à l'écorce de la terre une épaisseur moyenne de vingt lieues de 5,000 mètres, il suffirait dans cette enveloppe d'une contraction capable de raccourcir le rayon moyen de la masse centrale de $\frac{1}{100}$ de millimètre pour produire la matière d'une

éruption. Si, en partant de ces données, continue M. Cordier, on veut supposer que la contraction seule produit le phénomène, et que par suite la terre il se fait cinq éruptions par an, on arrive à trouver que la différence entre la contraction de l'écorce consolidée et celle de la masse interne, ne raccourcit le rayon de cette masse que d'un millimètre par siècle. S'il n'y a que deux éruptions par an, le même raccourcissement s'opère en deux siècles et demi. On voit que, dans tous les cas, il suffit d'une action excessivement petite pour produire les phénomènes¹.

M. Cordier part d'un principe qu'il met lui-même en doute la *flexibilité de l'écorce terrestre*; mais en supposant que les effets dont il parle, la *flexibilité* et le *retrait* de la partie extérieure aient eu lieu dans le principe et aient occasionné les premières éruptions, qui n'avaient à percer qu'une enveloppe encore très-mince, il ne s'ensuit pas que les mêmes résultats doivent encore se produire. Il est à peu près certain que le refroidissement s'opérant d'abord à la surface du globe, l'extérieur a dû se contracter plus que la partie interne. L'inverse peut maintenant avoir lieu, et tandis que M. Cordier explique par la pression, les éruptions et les phénomènes volcaniques, M. de Beaumont essaie de remonter aux causes primitives des soulèvements par des effets contraires. Loin d'admettre que la croûte extérieure se contracte par le refroidissement de manière à comprimer la masse intérieure encore liquide ou pâteuse, M. de Beaumont pense que dans l'état avancé où se trouve maintenant le refroidissement séculaire de notre globe, il doit exister un rapport tout différent de celui qui est exprimé par M. Cordier entre la capacité de son enveloppe solide et le volume de sa masse interne. « Dans un temps donné, dit M. de Beaumont, la température de l'intérieur des planètes s'abaisse d'une quantité beaucoup plus grande que celle de leur surface, dont le refroidissement est aujourd'hui presque insensible. Nous ignorons sans doute quelles sont les propriétés physiques des matières dont l'intérieur de ces corps est com-

posé; mais les analogies les plus naturelles portent à penser que l'inégalité de refroidissement, dont on vient de parler, doit mettre leur enveloppe dans la nécessité de diminuer sans cesse de capacité, malgré la constance presque rigoureuse de leur température, pour ne pas cesser d'embrasser exactement leurs masses internes dont la température décroît sensiblement. Elles doivent par suite s'écarter légèrement et d'une manière progressive de la figure sphéroïdale, qui leur convient et qui correspond à un *maximum* de capacité; et la tendance graduellement croissante à revenir à une figure à peu près de cette nature, soit qu'elle agisse seule, ou qu'elle se combine avec les autres causes intérieures de changement que les planètes peuvent renfermer, pourrait peut-être rendre complètement raison de la formation subite des rides et des diverses tubérosités qui se sont produites par intervalles dans la croûte extérieure de la terre, et probablement aussi de tous les autres corps planétaires². »

En admettant la théorie de M. Cordier, relativement au retrait et aux phénomènes de pression, les soulèvements des chaînes de montagnes seraient l'effet des éruptions diverses, qui, à des époques différentes, auraient fracturé la croûte de la terre; les granites, les porphyres, les roches amphiboliques, les trachytes, les ophites, les basaltes et la lave auraient successivement apparu en perçant et quelquefois en soulevant l'écorce consolidée du globe.

Si, au contraire, nous regardons comme plus naturelle l'hypothèse de M. de Beaumont, ces éruptions diverses ne seront plus la cause, mais le résultat des grandes dislocations. La matière éruptive, au lieu de déterminer les fractures des couches, se sera seulement glissée dans les interstices que ces fractures auront laissés entre elles.

Ces deux modes d'action ont probablement eu lieu à des époques différentes.

Dans le système de soulèvements par éruptions, on peut admettre que l'élévation d'une chaîne de montagnes, ou la création d'un cratère de soulèvement, s'est opéré par une

¹ CORDIER, *Annales des Mines*, 3^e série, 1827, p. 131.

² ÉLIE DE BEAUMONT, sur les *Soulèvements des montagnes*, dans Labèche, p. 665.

série successive de secousses comme celles qui élèvent maintenant la côte du Chili ; dans le système opposé, il faut supposer que l'élévation a eu lieu d'un seul jet et dans un temps assez court ; car une ride qui s'opère au moyen de fractures, un plissement dans l'enveloppe déjà solide d'une sphère dont la capacité diminue en s'éloignant de la forme sphérique, doit avoir eu lieu presque instantanément. Et l'on conçoit très-bien alors que les couches fracturées ont dû rester dans la position qu'elles avaient prise, tandis que la même chose n'a pas toujours eu lieu dans les éruptions, puisque nous avons déjà cité l'exemple de dômes trachytiques qui, s'étant ouverts, avaient laissé échapper diverses matières et s'étaient ensuite refermés.

Les volcans, tels qu'ils se présentent de nos jours, ne paraissent pas avoir contribué à ces différents soulèvements de l'écorce de la terre. Ils n'en sont qu'un résultat. Nous les voyons tous placés, ou sur la ligne de faite d'une chaîne volcanique, ou au pied de cette même chaîne, position qui semble assez naturelle, parce que la résistance est nécessairement moindre là où les fractures se sont opérées. Or, le soulèvement d'une partie de terrain en série plus ou moins longue, doit présenter au moins trois fractures, sur l'une desquelles la matière volcanique se fera jour de préférence, ayant moins de couches à traverser. Tantôt c'est au sommet de la chaîne, tantôt c'est à la base, et quelquefois sur deux ou plusieurs lignes parallèles, comme on le remarque pour les volcans éteints de l'Auvergne. Si des terrains de sédiments appuient sur un des côtés, la résistance sera plus forte, et les volcans paraîtront plutôt sur la fracture qui sera le plus à découvert. Cette seule disposition des bouches volcaniques suffirait pour indiquer les fractures. Du reste, celles-ci servent souvent d'issue à plusieurs roches successives. En Auvergne, la ligne des volcans s'est ouverte sur une fracture du granite qui avait été remplie par des amphibolites. Les trachytes ont percé cette ligne pour s'élever, et la plupart des dômes ont ensuite été percés par des laves ou cachés sous des scories. La fréquence des volcans sur le bord des continents ou dans les îles tient à la position de ces fractures. Les contours de ces

grandes terres sont souvent marqués par des failles, comme elles ont été aussi l'origine première de la direction de la plupart des cours d'eau. (Fig. XLVIII et XLIX.)

La situation des volcans dans les îles tient à la même cause qui les place sur les montagnes. Les îles n'étant que le sommet de chaînes sous-marines, les éruptions ont lieu sur la ligne de fracture. Quant à l'appareil volcanique lui-même, à ces cônes de scories, aux cratères et aux laves, tout cela tient à l'époque actuelle, tout cela caractérise et nous prouve la grande épaisseur de la partie solidifiée de la terre.

On conçoit en effet que le refroidissement graduel de la surface du globe et l'accroissement progressif de l'épaisseur de la croûte, ont dû singulièrement modifier les dislocations diverses, qui ont altéré l'uniformité de surface du sphéroïde terrestre.

Quand la matière en fusion commençait à se figer, les moindres actions donnaient lieu à des oscillations que l'on ne pouvait pas encore désigner sous le nom de soulèvements. De larges marées se faisaient sentir plus régulièrement que celles qui ont lieu maintenant sur l'Océan. Ces marées ont même eu la puissance de briser à plusieurs reprises la pellicule solide qui tendait à se former. Cette croûte a pu, après un certain laps de temps, et aux époques où le soleil et la lune se trouvaient dans les circonstances les plus favorables pour opérer la grande marée, être percée par des vagues de matières fondues qui se seront étendues à sa surface, et ainsi ont dû être créés les premiers terrains d'épanchement, formés selon toute apparence par les granites. Les plus grandes de ces marées terrestres ne pouvaient s'élever au delà de 4 à 5 mètres, et M. Cordier, qui suppose à l'écorce du globe un reste de flexibilité, pense que ce phénomène s'exerce encore, quoique très-faiblement, sur toute la masse de la terre.

Cette écorce, si elle n'est plus flexible maintenant, a dû l'être autrefois, mais cette propriété remarquable a nécessairement diminué à mesure que son épaisseur augmentait. La cémentation, d'abord très-active, s'est peu à peu ralentie à mesure que le noyau oxidable s'est enveloppé d'une couche plus épaisse d'oxides vitrifiés.

Les phénomènes de soulèvements n'ont donc pu commencer qu'après la solidification de la croûte terrestre, et comme cette croûte était peu épaisse, facile à rompre ou à soulever, les soulèvements ont dû être fréquents, et en même temps très-simples, n'offrant aucune complication, élevant à peine sur les pentes quelques couches de sédiment qui commençaient à se déposer. Il y eut même très-probablement un certain nombre de rides qui se formèrent avant le dépôt des sédiments, et que leur faible élévation rend peu sensibles. L'épaississement de la croûte, le poids des dépôts sédimenteux, l'action de moins en moins intense de la cémentation et de l'émission de chaleur, ont nécessairement éloigné ces grandes convulsions, mais leur intensité a dû augmenter dans ces mêmes proportions. L'intervalle entre deux révolutions successives, doit aller sans cesse en croissant; mais comme la résistance à laquelle nous devons l'accroissement de durée de ces périodes de tranquillité, mesure précisément l'énergie des forces qui doivent briser l'enveloppe solidifiée, nous devons en conclure que la grandeur des phénomènes qui en seront le résultat, ira toujours aussi en augmentant. Déjà nous avons des preuves de ce développement progressif des forces intérieures, en comparant la grandeur des chaînes soulevées avec les époques. Les Pyrénées, les Alpes sont au nombre des soulèvements les plus récents, et quelle différence entre la masse et l'élévation de ces montagnes et celles des premiers systèmes que nous avons décrits. L'Himalaya, qui vraisemblablement appartient à un des systèmes les plus récents, a soulevé des corps organisés jusqu'à la hauteur prodigieuse de 5,500 mètres sur ses pentes¹.

La masse énorme des Andes, qui de l'extrémité sud de l'Amérique s'étend pour ainsi dire jusqu'au pôle nord, parait être le dernier trait que les soulèvements ont ajouté au relief du globe, et c'est certainement le plus saillant. Un mouvement aussi étendu que celui qui dut être occasionné par l'apparition de cette vaste chaîne, doit avoir produit de grands

phénomènes sur la terre. D'immenses oscillations ont dû agiter les mers, et des lames proportionnées à la puissance qui les mettait en mouvement, ont dû balayer les continents émergés, et soulever les sédiments jusqu'au fond des abîmes de l'Océan. Qui sait si cette Atlantide, dont l'existence est quelquefois considérée comme fabuleuse, n'a pas disparu dans cette grande convulsion de la nature? Peut-être l'élévation de cette chaîne est-elle contemporaine de l'existence de l'homme, et a-t-elle contribué à l'une de ces grandes inondations qui sont inscrites à une date presque uniforme dans les archives de tous les peuples. C'est un doute qu'élève lui-même M. de Beaumont, en donnant le nom de système des Andes, qu'il regarde comme le plus récent, à cet énorme bourrelet montagneux, qui court entre l'Océan Pacifique d'une part, et les continents des deux Amériques et de l'Asie de l'autre, en suivant depuis le Chili jusqu'à l'empire des Birmans, la direction d'un demi grand cercle de la terre, et en servant comme d'axe central à cette ligne volcanique en zigzag, qui, suivant çà et là les fractures plus anciennes sans s'écarter de la zone littorale, forme, ainsi que l'a remarqué M. de Buch, la limite la plus naturelle du continent de l'Asie, et peut être considéré comme séparant la partie aujourd'hui la plus continentale du globe terrestre de la partie la plus maritime².

Il est donc très-possible que la série des soulèvements du sol ne soit pas terminée, et que de nouvelles dislocations viennent détruire une partie des races existantes, et changer encore la configuration de notre planète. Les observations télescopiques nous font voir dans la lune, non pas des chaînes, mais des groupes de montagnes, qui, relativement au volume de notre satellite, sont plus élevées que les nôtres, et il n'y aurait rien d'extraordinaire à supposer que ce globe a éprouvé ses derniers soulèvements, tandis que le nôtre est encore à les attendre. Nous sommes, il est vrai, dans une période de tranquillité et de calme qui dure depuis très-longtemps, et qui probablement s'étendra encore bien loin; mais le temps n'est rien pour la nature: c'est

¹ Correspondance de Victor Jacquemont, t. I, p. 215.

² M. DE BEAUMONT, dans Labèche, p. 661.

un élément que nous plaçons toujours en première ligne, parce que nous comparons toutes nos chronologies à notre existence, ne pouvant les comparer à celle des corps célestes.

Peut-être aussi la communication presque régulière qui existe maintenant, au moyen des volcans, entre l'intérieur du globe et l'atmosphère, est-elle une sorte de garantie analogue aux soupapes de sûreté que l'on applique aux machines à vapeur pour en prévenir les explosions ; peut-être enfin l'épaisseur de la croûte terrestre a-t-elle acquis les limites au delà desquelles ses grandes fractures ne peuvent plus s'opérer ; mais ces ébranlements, ces violentes secousses que nous éprouvons si souvent, et qui ont désolé tant de contrées, anéanti des villes si peuplées et enseveli tant d'habitations, sont des signaux qui nous rappellent fréquemment le peu de stabilité de notre demeure et la fragilité de notre existence.

En admettant qu'il se produise encore de nouveaux soulèvements, nous devons supposer qu'ils auront lieu sur les continents ou dans leur voisinage, et qu'ils profiteront des lignes de fractures déjà établies. Ainsi nous avons déjà remarqué que plusieurs systèmes séparés par de longs intervalles, et dont l'âge ne peut être confondu, ont affecté une semblable direction. Il en résulte que les soulèvements récents doivent être plus compliqués que les anciens, par la raison qu'ils peuvent se surajouter, comme nous venons de le dire, et ensuite parce qu'ils peuvent se croiser. Cet effet a lieu quelquefois, et en général il en résulte d'abord un soulèvement extraordinaire, et une montagne très-élevée, comme le mont Blanc en est un exemple, et ensuite une sorte de cirque analogue aux cratères de soulèvement, mais produit sur une dimension généralement plus grande. M. de Buch cite comme cirque de ce genre la vallée de Mexico, et M. de Beaumont celui du mont Blanc entouré de hautes montagnes, ainsi que celui de l'Elbrouz dans la chaîne du Caucase. En comparant les hauteurs relatives des deux cimes du mont Blanc et de l'Elbrouz avec celle de quelques points culminants de leur cirque, et rattachant ces observations à celles des hauteurs comparatives du pic de Ténériffe et de la Caldéra, il arrive aux proportions suivantes qui

sont remarquables par leur ressemblance :

Cimes.	Bords des cirques.	Rapport.
Mont Blanc... : Bucl.....	1 : 1	0,646.
Elbrouz : Inst.....	1 : 1	0,648.
Pic de Teyde... : Los Adulejos....	1 : 1	0,758.

Les anomalies que l'on rencontre dans les soulèvements de certaines chaînes, peuvent aussi provenir d'une cause bien difficile à apprécier, de l'inégalité d'épaisseur de la couche terrestre, et par conséquent de l'inégalité du refroidissement. La température extérieure et le plus ou moins de conductibilité des roches, doivent influencer sur cette circonstance, et en admettant ce raisonnement, la croûte solide de la terre devrait être plus mince sous la zone torride, et plus épaisse vers les pôles ; ce serait par conséquent dans les régions équatoriales qu'elle devrait se percer de préférence. L'observation ne dément pas cette supposition. Il semble même que diverses chaînes de montagnes disparaissent avant d'arriver aux pôles, et M. Le Play croit que l'on peut attribuer à cette cause l'abondance des mers aux deux extrémités de la terre et leur grande profondeur¹.

Il ne faudrait cependant pas conclure de là que la force volcanique n'agit plus vers les régions polaires, l'Islande prouve le contraire, et les derniers voyages de recherches vers le pôle sud, ont fait découvrir non-seulement quelques îles, mais des Archipels dont l'existence ne peut être que récente, et sur lesquels l'absence des quadrupèdes et l'originalité de la végétation se réunissent pour leur assigner une émigration peu éloignée de l'époque actuelle.

Quelques phénomènes presque dépendants des grandes dislocations du sol se sont passés avant l'entière solidification de ces roches cristallisées, qui ont primitivement recouvert le globe. Un des principaux consiste dans la présence de dépressions plus ou moins grandes, qui existaient à cette époque, et dont la plupart ont été comblées par des eaux d'abord, et ensuite par des sédiments. On conçoit qu'avant la consolidation de la croûte ter-

¹ LE PLAY, sur les Soulèvements des montagnes, *Annales des Mines*, 3^e série, t. VI. p. 515.

restre, ou lors même qu'étant solidifiée elle n'avait qu'une faible épaisseur, des affaissements ont dû se former toutes les fois que dans des oscillations de la masse fondue, la croûte solide a porté à faux. On voit facilement que lors du soulèvement on du rideau d'un système de montagnes, des dépressions ont pu avoir lieu au pied de la chaîne, par le départ d'une certaine quantité de matière éruptive, et en même temps par la pression de conches solides maintenues sur une matière liquide, qui s'est échappée quand une issue s'est présentée. D'un autre côté, le refroidissement successif mais inégal de diverses portions de la masse terrestre superficielle, a dû laisser une cavité plus ou moins large et peu profonde dans la partie qui s'est refroidie la dernière. Ce phénomène, que nous observons sur toutes les matières fondues, même en petite quantité, a dû se produire en grand, pendant ce refroidissement séculaire auquel ont été soumises toutes les parties de la terre. Nous retrouvons ces dépressions produites par simple retrait sur tous les plateaux de basalte horizontalement situés. Les innombrables cratères de la lune, nous offrent une longue suite de ces dépressions ou de ces cavités formées par retrait. La terre nous en présenterait aussi beaucoup sans doute, si les parties qui doivent en avoir

en plus grande quantité n'étaient pas caillées sous les eaux de l'Océan, et si d'un autre côté de nouveaux et puissants dépôts de sédiment n'avaient pas nivelé une grande partie de ces cavités primitives. Les mêmes effets de comblement n'ont probablement pas eu lieu sur la lune. Sur la terre, la seule dépression de ce genre qui soit un peu considérable est le bassin de la mer Caspienne.

Les soulèvements ont pu aussi produire la dispersion des blocs erratiques, en occasionnant la fonte subite des glaces ou des neiges existant déjà sur une chaîne voisine ou sur une chaîne qu'un système plus récent serait venu croiser. C'est ainsi du moins que M. de Beaumont explique le transport des blocs des Alpes, au moyen de grands courants formés tout à coup, qui les auraient entraînés avec violence, et quelquefois à d'immenses distances.

C'est aussi aux fractures occasionnées pendant l'élévation des montagnes, et au redressement des couches de sédiment qu'il faut rapporter l'origine première d'un grand nombre de cavernes appartenant à des terrains divers.

Enfin, c'est à la même cause qu'il faut attribuer ces fentes si nombreuses, quelquefois remplies par en haut, plus souvent injectées par en bas, et que l'on désigne sous le nom de filons. Leurs caractères méritent d'être soigneusement étudiés.

CHAPITRE VINGT-NEUVIÈME.

SUR QUELQUES ACTIONS CHIMIQUES DÉPENDANTES DE LA CHALEUR CENTRALE.

L'examen des grands phénomènes d'éruption et de dislocation dans l'écorce solide de la terre, nous a fait remarquer un fait très-important : c'est qu'il doit exister et qu'il existe en effet de nombreuses communications de l'intérieur du sol avec l'extérieur ; ce sont des fractures, des fentes plus ou moins larges, plus ou moins étendues, qui ont servi de passage à toutes les matières qui se sont épanchées du dedans au dehors.

Les corps qui ont fait partie de ces différentes éruptions, se présentent sous trois états : gazeux, liquides, solides ou pâteux. Ces deux derniers modes n'en contiennent réellement qu'un seul, puisque les corps pâteux deviennent solides par le refroidissement.

Nous avons étudié déjà d'une manière générale la nature et les caractères des corps gazeux, des eaux minérales ; et des roches d'épanchement qui, seules ou réunies, s'échappent du sein de la terre ; mais jusqu'ici nous n'avons fait aucune mention des matières déposées sur les parois pendant le trajet ; ni des altérations produites par le contact de ces matières sur les mêmes parois.

Nous n'avons pas non plus examiné assez attentivement les différentes phases du refroidissement des roches ignées, ainsi que les réactions des divers éléments qui les composent, soumis à un refroidissement plus ou moins rapide, et à des actions électriques plus ou moins intenses. Ce sont ces matières qui nous restent à étudier, avant de passer à la classification des terrains. Nous allons donc successivement passer en revue : 1° les filons ou l'ensemble des matières déposées dans les fissures de communication de l'intérieur à l'extérieur ; 2° les actions de contact et prin-

cipalement la dolomitisation ; 3° les phénomènes de refroidissement et de liquation.

DES FILONS EN GÉNÉRAL.

Nous donnerons d'abord à ce nom son acception la plus étendue, et nous considérerons les filons comme des masses allongées plus ou moins importantes, allant de l'intérieur à l'extérieur du sol. Ce sont pour nous des fentes provenant de fractures ou des fissures plus ou moins étendues, qui ont été remplies en totalité ou en partie ; ce sont les routes au moyen desquelles les matières de l'intérieur du globe sont arrivées à sa surface.

On voit que nous excluons des filons tous ceux qui auraient pu être remplis par en haut, par dépôts mécaniques ou chimiques. Nous considérons ces derniers comme des fentes remplies, plus ou moins analogues aux cavernes à ossements, comme de simples dérangements dans la stratification régulière des terrains, ou de simples accidents dans les massifs non stratifiés. Nous les avons étudiés plus haut et nous n'y reviendrons plus, quoique l'on puisse supposer avec quelque raison que certaines fractures, remplies par le haut, aient aussi été injectées par le bas.

Nous partagerons les filons en deux séries : dans la première nous placerons les *filons d'injection*, dans la seconde les *filons de dépôt*, divisions auxquelles on pourrait aussi donner le titre de filons *pierreux* ou *métallifères* ; mais la nomenclature aurait l'inconvénient d'être moins exacte.

Il est bien peu de phénomènes qui soient aussi compliqués que celui de la création des filons de diverses espèces. Il faut bien se garder de généraliser les observations que l'on

peut faire sur ce sujet dans une contrée, et de l'appliquer à la théorie générale des filons, car cette théorie se compose d'une infinité de détails, et nous montre à chaque instant les grandes variétés de moyens que possède la nature pour arriver à un même résultat.

Nous ne pouvons, dans un ouvrage élémentaire, traiter comme elle mérite de l'être, l'importante question des filons. Nous renverrons les personnes qui désireraient sur ce sujet de plus amples détails, à un ouvrage très-remarquable de M. Fournet, professeur à la faculté des sciences de Lyon¹; on y trouvera, réunis à la plus profonde érudition, un style d'une grande lucidité et les observations les plus judicieuses. Ce beau travail nous a été très-utile dans la rédaction de ce chapitre.

Filons d'injection.

Cette catégorie contient un grand nombre de filons qui ont traversé indistinctement les roches cristallisées et les terrains stratifiés, selon l'époque à laquelle ils ont paru. Ils sont en général composés eux-mêmes de roches cristallisées, quelquefois analogues à celles qu'ils traversent et plus souvent différentes. Nous voyons de nos jours de tels filons se former dans les terrains volcaniques. Nous en avons décrit un exemple en parlant des éruptions de l'Etna, et nous en voyons fréquemment dans les environs des volcans éteints. Ils sont produits par la matière même des roches volcaniques, qui s'injecte dans les fractures occasionnées par les tremblements de terre. Tantôt, le filon reste encaissé et ne se manifeste pas au dehors (Fig. L); d'autres fois il vient affleurer et forme même souvent comme une haute muraille (Fig. LI), due à la décomposition de la roche encaissante, tandis que lui a résisté et fait saillie. On donne à cette espèce de filons volcaniques le nom de *dykes*.

On voit aussi ces mêmes filons verser une petite quantité de matière lavique, qui, arrivant pâteuse, se fige sur le lieu même de son origine (Fig. LII), et forme ce qu'on appelle

des *culots*. Enfin, si la matière vomie par le filon est assez liquide, elle s'épanche et forme une nappe ou coulée plus ou moins épaisse, plus ou moins étendue, selon les circonstances variées, auxquelles elle est soumise. Il peut même arriver que, dans des terrains stratifiés, la matière fondue se glisse entre deux couches avant d'arriver au jour, et forme une coulée intérieure que l'on pourrait facilement confondre avec une véritable couche. Cet épanchement interne empêche ordinairement, mais pas toujours, un second épanchement au dehors. (Fig. LIII.)

Non-seulement les laves, les basaltes et les trachytes ont donné naissance à de semblables filons, mais il en est de même des porphyres, des mélaphyres, des roches amphiboliques, des granites et de plusieurs autres substances.

L'âge de ces filons détermine généralement leur forme et leur épaisseur. Ceux qui sont les plus modernes ont été injectés dans des fissures résultant de fractures nettes au milieu de roches entièrement solidifiées, dont ils ont peut-être un peu fondu les parois; mais les plus anciens, sortant à travers des roches qui n'étaient pas encore bien solides, ont dû nécessairement les écarter, et ont pu prendre des formes si irrégulières qu'elles se confondent avec les véritables massifs de roches cristallisées. Ce ne sont pas des filons, ce sont de véritables *amas*, comme ceux de certains porphyres dans les granites, ou des amphibolites et des serpentines dans plusieurs autres roches.

Chacune des roches qui se présente en filons dans les autres, a eu pour son apparition une époque moyenne à laquelle elle a atteint son *maximum* de fréquence, mais en deçà et au delà de cette époque, elle a oscillé pendant longtemps avant d'atteindre son apogée, ou de cesser ses injections.

Nous ne citerons pas les nombreuses localités où l'on peut observer ces filons divers, encaissés dans des roches tout à fait différentes, mais nous reviendrons plus loin sur l'action du contact de ces différentes masses avec la gangue qui en forme les parois.

Les matières métalliques se rencontrent assez rarement dans les filons d'injection, et si elles s'y trouvent, c'est disséminées dans

¹ *Études sur les dépôts métallifères*, un vol. in-8°; Paris, Levrault et J.-B. Baillière.

la masse même du filon, comme si elles étaient contemporaines de la matière injectée. Ces filons, en pénétrant dans les fentes pour les remplir, ont quelquefois détaché des parois, des fragments de la roche encaissante, qui se sont mêlés avec la matière éruptive, et que l'on retrouve dans leur intérieur. Cela est même arrivé pour des roches stratifiées qu'ils ont traversées, et des masses contenant des fossiles ont pu se trouver encastrées dans des roches évidemment cristallisées.

Un fait fort singulier, c'est que ces masses minérales indiquent souvent la présence de matières métalliques dans leur voisinage. Il semble qu'elles aient ouvert les voies, et que des sublimations ou des agents chimiques, pénétrant par ces premières fissures, aient formé à une petite distance, des dépôts plus ou moins métallifères.

Filons de dépôt.

Sous le nom de dépôt, nous entendons des matières qui n'ont pas été injectées, mais déposées par des vapeurs ou des liquides. Tels sont, selon toute apparence, les filons métallifères. Ce sont ces derniers qui ont été principalement étudiés, à cause des richesses qu'ils renferment, et les mineurs les ont connus bien avant les géologues.

« Les filons, dit M. Fournet, sont des masses minérales non stratifiées, de forme à peu près tabulaire, c'est-à-dire, dont l'étendue en hauteur et en longueur est beaucoup plus grande que celle en épaisseur. Ils coupent presque toujours un terrain ou une masse quelconque de roches, au moins dans une partie de leur cours, et ils sont d'une nature ou d'une structure différente de celle des terrains qu'ils traversent ».

Depuis longtemps les mineurs ont donné aux différentes parties des filons des noms que les géologues ont adoptés. Les deux faces principales d'un filon (*Fig. LIV*) prennent le nom de *salbandes*, mais on ne les désigne ainsi qu'autant qu'elles sont de nature ou au moins de couleur différente de la masse. On nomme *épontes* les parois sur lesquelles s'appuient les salbandes; et comme le filon est

presque toujours incliné, l'éponte supérieure prend le nom de toit, et l'inférieure celui de mur. Quand une partie du filon vient effleurer la surface du sol, on l'appelle *affleurement* ou *tête de filon*. On nomme gangue les matières terreuses ou pierreuses qui enveloppent les minerais métalliques.

Les salbandes n'existent pas toujours; quelquefois il n'y en a qu'une, d'autres fois une de chaque côté, ou un plus grand nombre. Elles sont en général de même nature dans chaque filon et toujours disposées dans le même ordre.

Position des filons. — Ils coupent en général les couches obliquement ou perpendiculairement; quelquefois ils se trouvent entre deux conches ou au point de contact de deux terrains. On détermine la position d'un filon au moyen de deux lignes droites, tracées sur le plan d'une des salbandes : une d'elles, menée horizontalement, fait un certain angle avec la méridienne; cet angle, donné par la boussole, est la *direction* du filon. Une seconde ligne, menée sur la salbande perpendiculairement à la première, fait avec l'horizon un angle qui détermine l'*inclinaison* du filon.

Forme. — Il est assez difficile de déterminer la forme des filons métallifères; ce sont en général des masses aplaties, dont les deux faces restent parfois parallèles sur une grande étendue; d'autres fois le filon s'amincit ou s'élargit par en bas, ou bien il se recule ou s'amincit de distance en distance. Les filons se divisent souvent en rameaux, quelquefois très-nombreux, mais presque toujours sur le même plan. Ils peuvent aussi se réunir et former de véritables faisceaux qui marchent ensemble.

Dimensions ou puissance. — La largeur des filons métallifères, à parois parallèles, est sujette à quelques variations remarquables. Si l'on fait abstraction des branches et filons accompagnants, elle ne dépasse en général pas un mètre. Sur plus de cent filons contenus dans les montagnes de Freiberg, Werner a pu à peine en observer quelques-uns qui atteignaient deux mètres. Cependant le Nordlauer, en Franconie, que l'on cite pour le plus

¹ FOURNET, p. 17.

grand de l'Allemagne, a une puissance de 10 à 12 mètres; le Burgstadtergang, dans le Hartz, en a depuis 40 jusqu'à 60; mais il paraît qu'on pourrait le regarder comme un plexus de plusieurs autres filons. Le filon principal de Schemnitz, en Hongrie, qui est le Spitaler, a jusqu'à 56 mètres en quelques points; enfin celui de Guanajuato, au Mexique, aurait de 40 à 45 mètres, d'après M. de Humboldt.

Ces filons si larges, qui ont généralement aussi une grande étendue, ne sont pas cependant toujours les plus abondants en substances métalliques; les mines d'or et d'argent de Kremnitz, en Hongrie, en sont un exemple; le filon principal de ces mines, qui a jusqu'à 50 mètres de largeur, n'est presque pas exploité, et on s'attache à travailler plusieurs petites branches qui partent de ce filon. Il semble que la matière métallifère ait été trop peu abondante pour subvenir au remplissage d'une si vaste cavité, et qu'elle s'est concentrée de préférence par une sorte d'attraction, en quelques rognons que l'on exploite si le hasard y conduit. D'ailleurs, une pareille dilatation n'a pu se faire sans que d'énormes blocs se soient détachés des parties latérales, pour tomber dans la fente, et ce ne sont guère que leurs intervalles qui ont pu se combler de minerais¹.

Richesse. — Elle dépend de la quantité de minerai qui existe dans un filon. On remarque, sous ce rapport, d'énormes inégalités. La roche que le filon pénètre a une grande influence sur la composition, et par conséquent sur la richesse qui présente de singulières anomalies, quand le filon traverse plusieurs espèces de terrains. La profondeur est aussi une circonstance qui peut faire varier la nature et la quantité du minerai.

On voit des filons qui se trouvent déjà nobles sous la terre végétale, d'autres où le deviennent qu'à une certaine profondeur; enfin, le minerai peut y changer complètement de nature, et le filon en éprouver un appauvrissement.

En Hongrie, les minerais les plus riches ne se trouvent pas immédiatement à la sur-

face, ni à une grande profondeur; ils occupent une position moyenne entre 80 et 150 toises au-dessous du niveau du sol, quelles qu'en soient les irrégularités. Plus bas, le mélange du minerai avec la gangue devient de plus en plus intime; aussi les opérations de lavage qu'il faut faire subir aux minerais avant la fonte, se compliquent à tel point que souvent on est forcé de suspendre l'exploitation, sans que les filons se soient montrés plus étroits qu'à leur affleurement. Dans la Transylvanie, beaucoup de veines d'or ont été remplacées dans la profondeur par des minerais de plomb. Dans le Banuat, où a vu le fer opérer cette substitution².

Il semble que l'élévation plus ou moins grande au-dessus du niveau de la mer, fasse éprouver des modifications aux richesses métalliques.

Dans l'ancien continent, les filons de Freiberg et de Clausthal, qui traversent des montagnes de gneiss et de grauwaacke, viennent au jour sur des plateaux dont l'élévation au-dessus du niveau de la mer n'est que de 400 et 500 mètres. Cette élévation peut être regardée comme la hauteur Moyenne des mines les plus abondantes de l'Allemagne. Dans le nouveau continent, les richesses métalliques sont déposées par la nature sur le dos même des Cordillères, quelquefois dans des sites peu éloignés de la limite des neiges perpétuelles. Les exploitations les plus célèbres du Mexique se trouvent à des hauteurs absolues de 1,800 à 3,000 mètres. Dans les Andes, les districts des mines de Potosi, d'Oruro, de la Paz, de Paseo et de Hualgayoe, appartiennent à une région dont l'élévation surpasse celle des plus hautes cimes des Pyrénées. Près de la petite ville de Micuipampa, dont la grande place, d'après une mesure exacte, est élevée de 5,618 mètres au-dessus du niveau de la mer, un amas de minerai d'argent, connu sous le nom du Serro de Hualgayoe, a offert d'immenses richesses dans ses affleurements à une hauteur absolue de 4,100 mètres³.

La longueur des filons est considérable; et

¹ FOURNET, p. 167.

² HUMBOLDT, *Essai politique sur la Nouvelle-Espagne*, t. III, p. 142.

³ FOURNET, *sur les Dépôts métallifères*, page 157.

tout porte à croire qu'ils s'étendent à une distance quelquefois très-grande.

On cite à Freiberg, comme un phénomène remarquable, le filon appelé *kalsbrukner apatk*, qui a été reconnu dans une longueur de 6,200 mètres. La Vetamadre de Guanaxuato est exploitée depuis Santa-Isabela et San-Bruno, jusqu'à Buenavista, sur une longueur de plus de 12,700 mètres.

Pour donner une idée de la richesse métallique incluse dans ce filon, il suffira de rappeler que la mine de Valenciana, pendant un espace de quarante ans, n'a jamais cessé de donner à ses propriétaires moins de deux à trois millions de francs de profit annuel, et la somme d'argent extraite s'élevait à plus de quatorze millions. Cependant cet énorme produit est dû bien plutôt à la grande facilité de l'exploitation et à l'abondance des minerais qu'à leur richesse intrinsèque, qui ne dépasse pas celle des masses du même ordre de l'Europe.

Le percement et le muraillement des trois anciens puits de tirage ont coûté près de six millions.

La consommation de la poudre seule a été de 400,000 fr. par an; celle de l'acier, pour les pointerolles et les fleurets, s'est montée à 150,000 fr.; et enfin trois mille individus sont employés aux divers travaux.

Malgré la puissance de ces filons, malgré la persévérance des hommes, tout l'argent extrait depuis trois siècles de toutes les mines de l'Amérique, ne formerait qu'une sphère de 83 pieds de diamètre¹; que l'on compare cette sphère à la masse de la terre qui a 3,000 lieues de diamètre!

Composition. — Les filons contiennent beaucoup de minéraux cristallisés, et l'on aurait plutôt fait de donner la liste de ceux que l'on n'y a pas encore rencontrés, que de citer tous ceux qu'on y trouve. Ils sont toujours bien plus riches en espèces que la roche qui les environne, et l'on y exploite la plupart des métaux.

Certains minerais se présentent d'ailleurs fréquemment associés. Ainsi, il est ordinaire de rencontrer la blende avec la galène; le co-

balt, le nickel et le bismuth natif sont ordinairement réunis. L'étain se rencontre presque toujours avec le wolfram, le molybdène et la pyrite arsénicale. L'argent natif est assez fréquent dans les gangues spathiques, et l'or, au contraire, dans celles quartzueuses et ferrugineuses.

D'autres minerais semblent s'exclure mutuellement; aussi voit-on rarement l'étain avec le minerai d'argent. Le cinabre est ordinairement seul ou tout au plus avec quelques pyrites ferrugineuses².

On trouve aussi dans les filons de l'argile, des galets, des corps organisés, etc.; mais ces derniers corps indiquent des fentes remplies par en haut plutôt que de véritables filons.

Structure. — Elle est généralement due à la réunion de plusieurs bandes parallèles correspondantes à partir des deux parois; quelquefois même le centre est vide.

M. d'Aubuisson mentionne ainsi un filon composé de couches de baryte sulfatée et de schistes feuilletés, diversement colorés, et disposés avec une si exacte symétrie de part et d'autre, qu'avec la règle et le compas on n'aurait pu faire mieux. Ce géologue remarque que cette structure est exactement ce qu'elle aurait été si la fente eût été remplie d'un dissolvant ou de diverses dissolutions qui auraient successivement déposé sur les parois différents précipités, et il ajoute que la coupe de certaines géodes et celle de certains tuyaux de conduite, dans lesquels les eaux ont fait des dépôts successifs, présentent des faits analogues.

« Cette extrême régularité n'a pas toujours lieu; quand, par exemple, les filons renferment des fragments de roche adjacente, emboîtés dans leur masse, le métal s'est porté de préférence autour d'eux, et il les a enveloppés d'une couche plus ou moins épaisse. Ces faits sont fréquents dans les mines du Hartz. Le plomb sulfuré y porte le nom de *ringerts* ou de minerai en anneau.

« Lorsque la matière qui constitue les dépôts dont nous venons de parler a manifesté une tendance à la cristallisation, on remarque que la pointe des cristaux est toujours tour-

¹ Менделов, *Fragments asiatiques*, t. II, p. 583.

² Fournet, p. 140.

née vers l'intérieur du filon, ou au moins vers le côté qui lui présentait le plus d'espace vide pour son développement. Chaque couche successive prend en conséquence sur celle de ses faces tournée vers la plus ancienne, l'empreinte des cristaux adjacents, tandis que les cristaux qu'elle porte sur l'autre face enfoncent leur pointe dans la suivante. Enfin, les cristaux qui ont achevé le remplissage se présentent leurs sommets et s'engrènent les uns dans les autres, quand ils viennent à se rencontrer.

« Quand ces couches successives ne se joignent pas et qu'elles laissent un vide entre elles, il en résulte des cavités revêtues de cristaux qui forment les druses, les fours ou les poches à cristaux. Ces cavités sont presque toujours oblongues, parallèles aux salbandes, et se trouvent le plus souvent dans les renflements des filons, où la matière incrustante paraît, par conséquent, n'avoir pas abondé suffisamment pour pouvoir opérer leur remplissage complet : elles sont évidemment les restes de l'ouverture primitive. »

On cite de ces cavités qui contiennent une grande quantité d'eau ¹.

Rapport des filons avec les terrains environnants. — Les filons suivent en général la même direction et la même inclinaison que la pente du terrain; mais presque toujours un des côtés de la roche est descendu, et c'est ordinairement le toit. Il semble qu'il y ait eu glissement des deux parties quand la fente s'est formée.

Rapport des filons entre eux. — Les filons ont entre eux de nombreux rapports. Dans une même contrée, ils ont généralement la même direction quand ils sont du même âge; ils affectent une sorte de parallélisme comme les chaînes de montagnes soulevées dont ils sont peut-être une dépendance. Mais il arrive souvent que plusieurs systèmes de filons se rencontrent et se croisent; ils se coupent naturellement, comme le font aussi quelques systèmes de montagnes. Si un système en coupe un autre dans un endroit, il le coupe dans tous les autres; ce qui prouve des formations différentes. Il est clair que le filon

compé est plus ancien que le coupeur. Cette intersection de deux filons a quelquefois lieu sans autre dérangement qu'un simple écartement des parties coupées, mais le plus souvent il y a en même temps déplacement dans un sens ou dans l'autre. Il s'opère une sorte de glissement qui rend quelquefois difficile la recherche du filon perdu. On observe pourtant généralement qu'il faut se diriger du côté de l'angle obtus, formé par l'intersection de deux filons, et le rejet est d'autant plus considérable que l'angle est plus obtus. (Fig. LVII.)

Quelquefois ces croiseurs, en rencontrant un filon principal très-solide, n'ont pu le traverser; mais ils s'arrêtent brusquement à sa rencontre. On désigne cette circonstance en disant que l'un d'eux *intercepte* ou *arrête* l'autre.

Enfin, on voit des filons voisins, qui courent ensemble sous un pareil angle, comme s'ils allaient se rejoindre; mais au moment où ils devraient se réunir, l'un d'eux s'écarte de sa direction primitive, de manière à former comme un K. Le fait s'est présenté pour un des filons de Sainte-Marie-aux-Mines, qui tendait d'abord à couper celui de Surlatte, et s'en est éloigné ensuite sans le toucher ².

Anomalies que présentent les filons dans les terrains qu'ils traversent. — Nous avons déjà vu, en parlant de la richesse des filons, qu'elle variait selon les roches qu'ils traversaient, et que le filon s'élargissait beaucoup en pénétrant certaines roches, telles que les roches schisteuses et les calcaires que les Anglais nomment *métallifères*. Les filons de Kongberg, en Norwège, sont stériles dans le schiste micacé, et deviennent très-productifs dans les bancs de roche, connus sous le nom de Saalbender; dans le Hartz, à Andréasberg, les filons qui passent du schiste argileux dans le schiste siliceux perdent de leur richesse dans cette dernière roche; dans le Cornouailles, d'après MM. Élie de Beaumont et Dufrénoy, la mine de cuivre de Huel-Alfred, à Pillack, présente la circonstance remarquable que le filon sur lequel elle était établie produisait très-peu de minerai, tant qu'il se

¹ FOURNEY, p. 145.

² FOURNEY, p. 109, 105.

trouvait dans le killas (roche schisteuse), et s'enrichit dès qu'il vint en contact avec l'elvan (roche porphyrique); à la profondeur de 240 mètres, il rentra dans le killas, et sa richesse déclina à tel point qu'on fut obligé d'abandonner l'exploitation.

Le filon d'étain de Huel-Vor était productif dans le killas, et il s'enrichit encore en pénétrant dans l'elvan, et même s'y ramifia de manière à imprégner toute la masse de l'elvan de minéral d'étain, ce qui détermina une exploitation sur la largeur d'environ vingt peds.

Dans le Derbyshire, les filons de plomb, qui passent du calcaire métallifère aux couches amygdaloides (basaltiques ou amphiboliques), connues sous le nom de toadstone, éprouvent non-seulement un changement de puissance, mais encore en richesse. Ainsi, dans la mine de Sevenrakes, au lieu d'un seul filon bien réglé, que l'on possédait dans le calcaire, on n'a trouvé dans le toadstone qu'un assemblage de petits filons assez parallèles, très-rapprochés, dans lesquels on trouve peu de galène, quoique la gangue y soit la même que dans le calcaire; du reste, il ne paraît nullement vrai, ainsi que l'avait déjà fait remarquer M. Brochant de Villiers, que les filons soient interrompus totalement à la rencontre du toadstone, comme on l'a avancé dans presque tous les ouvrages de géologie ¹.

Nous empruntons ces exemples à l'excellent travail de M. Fournet; ce savant en cite encore plusieurs autres de plus grand intérêt, que l'étendue de cet ouvrage ne nous permet pas de rapporter.

De l'origine des filons de dépôt.

La disposition et la régularité des différentes zones qui composent ordinairement les filons, peuvent jusqu'à un certain point justifier le titre que nous leur donnons; car tout semble indiquer qu'ils sont formés de matières successivement déposées par des gaz, par des liquides, et peut-être même par quelques injections. Quant à nous, quoique d'une opinion d'abord différente de celle qu'a développée M. Fournet, des études ultérieures, après la lecture de son ouvrage, nous ont fait

adopter sa manière de voir, très-clairement exprimée dans le passage suivant :

« Si nous joignons à diverses corrélations citées dans cet ouvrage celles non moins remarquables que M. Dufrénoy a observées dans les Pyrénées, entre les ophites, les gypses et le sel gemme; celles que M. Tournai a observées entre les basaltes périodotux et les dépôts gypseux de Sainte-Eugénie, dans le département de l'Aude, et qui toutes deux sont encore accompagnées de petites quantités de fer oligiste, de quartz cristallisé, etc., nous ne ferons plus de difficulté pour admettre que tous les phénomènes de dolomisation, de silification, de sulfatation postérieure; que l'introduction du sel gemme entre les strates soulevés des terrains; que les remplissages des fentes et ouvertures, quelle que soit d'ailleurs leur forme, par des métaux divers, ne soient le résultat de grandes actions plutoniques. Leur début a été de briser l'écorce du globe à l'aide d'injections de matières fondues, suivies ou accompagnées de dégagements de gaz et de vapeurs, et leur action s'est terminée par cette abondante éruption des sources minérales que nous retrouvons encore de toutes parts dans les régions profondément disloquées. Tous ces phénomènes chimiques sont du même ordre; c'est en les combinant que nous devons chercher la solution des problèmes nombreux que nous offrent les filons, qui tantôt présentent des traces évidentes de l'action du feu et tantôt de celle de l'eau, et c'est faute d'avoir eu égard à ces circonstances diverses, dont la cause primitive est cependant identique, que les géologues, malheureusement trop absolus dans leur manière de voir respective, se sont divisés si longtemps sur des questions bien simples à résoudre, s'ils eussent su faire les parts du feu et de l'eau, et se tenir d'ailleurs dans la réserve pour un petit nombre de problèmes douteux encore, mais que les progrès des sciences chimiques éclairciront bientôt ². »

C'est principalement à l'action des eaux minérales que M. Fournet attribue le remplissage des filons. Il suppose que des secousses successives ont pu, à des époques distinctes, élargir les fentes, et que des eaux,

¹ FOURNET, p. 33.

² FOURNET, p. 231.

chargées de matières différentes, sont venues y abandonner leurs dépôts. On ne peut douter de ces changements dans les eaux thermales, quand on fait attention à la nature de leurs dépôts, d'âge différent. On reconnaît bientôt, ainsi que nous l'avons déjà dit, que ces dépôts ont été successivement modifiés, et l'on doit supposer qu'à une époque antérieure à la nôtre, au lieu de calcaire et de silice, elles ont pu ébarrier des matières métalliques, que des réactions ou des phénomènes électriques ont forcées de se déposer lentement sur les parois des fentes qui leur servaient d'issue. Quand on voit de nos jours l'eau thermale former les minerais de fer, enduire des corps de silice, abandonner, comme à Chaudes-Aigues, des masses de fer sulfuré qui se dispose en filon, tandis que les eaux n'en contiennent plus une trace à leur sortie, on est forcé d'admettre que la surface d'action chimique de la terre gagnant toujours en profondeur, est maintenant arrivée à un point qui ne permet plus la formation de ces mêmes matières.

Il serait impossible, en considérant les filons comme résultant d'injections de bas en haut, d'expliquer d'abord leur structure par zones parallèles, et surtout de rendre raison de ces alternances, ou inégalités de puissance et de richesse, produites par certaines roches. Il faut nécessairement, dans ces circonstances, qui sont à la vérité exceptionnelles, supposer un liquide qui serait resté longtemps en contact avec les roches. M. Lyell admet que, dans ce cas, à la suite de nombreuses secousses de tremblements de terre, les fentes primitivement formées se sont rapprochées, mais inégalement, c'est-à-dire que les roches les plus tendres se sont resserrées plus que les autres, et que le filon s'est trouvé de cette manière étranglé et dilaté tour à tour. M. Fournet donne une explication qui semble plus naturelle, en faisant remarquer que ce sont principalement les roches calcaires qui contiennent le plus de métaux, et il admet que la solution étant seide, elle a corrodé les roches solubles de manière à élargir les endroits où elles se trouvaient en contact avec elle, ou bien, la dissolution renfermant les métaux à l'état salin, laissait précipiter le minéral à mesure qu'elle se saturait de calcaire.

Ce qui prouve encore cette action du liquide sur les calcaires, c'est que, dans quelques gîtes, on a trouvé de gros fragments de carbonate de chaux, dont les angles émoussés et arrondis démontraient l'action d'un acide, d'une manière d'autant plus évidente, que les parties schisteuses incluses étaient en relief sur la surface lisse des blocs. Peut-être aussi, comme le dit lui-même M. Fournet, ne doit-on voir dans ces inégalités de richesse autre chose que ces attractions de cristallisations produites par des forces électro-chimiques, vers la détermination desquelles les travaux de M. Becquerel nous mènent à grands pas.

On ne peut nier l'influence des actions électro-chimiques dans la formation des filons, depuis que M. Becquerel est parvenu à créer des pyrites, du chromate de plomb, du phosphate de fer, etc. ¹, et a laissé entrevoir la formation d'un grand nombre de substances. Les tuyaux qui amenaient les eaux de sources à Grenoble, ont donné un exemple bien curieux de l'effet des roches sur les dissolutions. Ces eaux, légèrement acidules, ferrugineuses et calcaires, avaient inondé, après plusieurs siècles, les tuyaux de plomb d'un faible enduit calcaire, tandis qu'elles avaient déposé des espèces de tubercules très-solides et très-abondants sur les tuyaux de fonte. Si alternativement il y avait eu un pied de tuyau de plomb, un pied de tuyau de fonte, on aurait eu la représentation complète d'un filon, dont la puissance eût été subordonnée aux actions électro-chimiques de ses parois. On remarque en Auvergne un effet analogue, en voyant les calcédoines, contenues dans les eaux de quelques sources, se déposer de préférence sur le pissasphalte, plutôt que sur toute autre matière.

Il faut reconnaître cependant que les véritables injections ont, comme nous l'avons déjà dit, une grande influence sur les filons, mais c'est plutôt en ouvrant les voies aux dissolutions qu'en laissant échapper les minerais fondus. On trouve souvent les filons au point de contact de granite et des terrains de sédiment, comme M. de Beaumont l'a observé dans l'Oisans. Il semble, dit ce savant, que

¹ BECQUEREL, *Traité de l'électricité et du magnétisme*, t. I, p. 542 et suiv.

les matières métalliques soient venues souder les deux terrains. M. Necker, en considérant la question sous un point de vue plus général, a reconnu que le voisinage des roches non stratifiées, était une condition essentielle de

l'apparition des substances métallifères. Il en est surtout ainsi pour une sorte de porphyre, à laquelle on a donné l'épithète de *métallifère*, parce qu'il indique dans les deux continents le voisinage des métaux.

CHAPITRE TRENTIÈME.

ACTIONS DE CONTACT, DE SUBLIMATION ET DE DOLOMISATION.

Les différentes masses qui ont été injectées dans les divers terrains, les filons de toute nature, remplis par des dépôts successifs, ont nécessairement donné naissance à un grand nombre de phénomènes chimiques. Il y a eu d'abord des actions de contact, c'est-à-dire, que les matières injectées ou déposées ont altéré les parois des fentes qu'elles ont remplies. Ensuite sont venus divers phénomènes produits par la sublimation des vapeurs qui se sont trouvées en contact avec des matériaux divers, et qui les ont plus ou moins altérés en les pénétrant ou en se solidifiant sur leur surface. Nous allons donc examiner quelques-unes de ces réactions.

Une des plus frappantes est l'altération que l'on a remarquée dans certains conglomérats, au point de contact d'une masse injectée qui a dû arriver incandescente et agir sur ses parois. M. Lyell en cite un exemple remarquable dans la Forfarshire, où les galets de quartz contenus dans le conglomérat, ont été brisés, puis réunis, circonstances qui sont absolument celles que l'on s'attendrait à voir résulter de l'application subite d'une forte chaleur. La houille traversée par des basaltes se transforme en coke plus ou moins parfait.

C'est du reste à des actions de contact qu'il faut attribuer cette sorte d'altération que présentent les parois d'un grand nombre de filons; l'aspect saccharoïde de certains calcaires traversés par des roches ignées; la division prismatique de conches sédimenteuses qui touchent des roches d'épanche-

ment, etc. Il serait impossible de décrire toutes les variétés de réaction, qui ont eu lieu de cette manière, au contact des roches ignées et des roches sédimenteuses, et par le séjour prolongé de dissolutions variées dans les fentes qui, plus tard, ont été remplies de leurs dépôts.

Ce sont surtout les corps gazeux, et ceux qui sont susceptibles de le devenir par la chaleur, qui ont produit les effets les plus variés dans une foule de circonstances. De nos jours, nous observons à chaque instant ces singulières réactions dans les phénomènes des volcans: Ce sont principalement ceux qui s'éteignent, ou les solfatares, qui donnent naissance au plus grand nombre de minéraux sublimés. Il est naturel, en effet, que dans les points où la température est assez élevée, où l'air extérieur est pour ainsi dire en communication avec l'intérieur du globe, que des minéraux se déposent, que des réactions s'opèrent, et qu'un grand nombre d'espèces minérales en soient le résultat. Le soufre est une des matières les plus communes dans ces circonstances. A la solfatare de Pouzzole, il s'insinue dans la substance même des anciennes laves, qui en sont toutes pénétrées, et d'où l'on en retire une immense quantité. En Islande, non-seulement les anciens volcans, mais jusqu'aux plaines qui les environnent, sont riches en soufre.

Le soufre que Dolomien a observé à l'Etna, ne se trouve que dans le cratère même, où il se présente sous forme pulvérulente, et quel-

quelquefois en petits cristaux octaédres : quand la chaleur du volcan le fait fondre, il coule en stalactites dont la forme est quelquefois singulière : on observe la même chose au Vésuve, où les stalactites ont des couleurs aussi variées que leur structure.

Spallanzani a vu aussi, dans une caverne du cratère de Volcano, des stalactites de *soufre*, qui sont immédiatement formées par les vapeurs sulfureuses qui s'attachent à la voûte de la caverne. Quelques-unes de ces stalactites avaient jusqu'à trois pieds de longueur sur deux pouces tout au plus de diamètre. Leur forme est cylindrique, et il paraît singulier qu'une matière sublimée, qui semblerait devoir former une incrustation uniforme sur les parois qu'elle recouvre, y ait pris une pareille configuration. Le *soufre* est quelquefois couleur de chair, mais ordinairement d'un beau jaune, et demi-transparent.

L'abondance du soufre dans les volcans presque éteints, et l'on peut dire sa rareté dans ceux qui sont en activité, tendraient à faire supposer que dans ces derniers il est brûlé par l'oxygène de l'air, à mesure qu'il se dégage, et qu'il donne naissance à des acides sulfureux et sulfurique assez abondants tous deux dans les éruptions.

L'acide sulfureux se perd dans l'atmosphère, mais souvent, comme le gaz hydrochlorique, il décolore les surfaces qu'il touche et les masses dans lesquelles il pénètre assez promptement. On trouve dans un assez grand nombre de volcans, des blocs de laves, des pouzzolanes, etc., passés à l'état terreux, et offrant une teinte jaunâtre, qui se communique même aux cristaux qu'ils renferment. Des masses énormes de domite ne sont peut-être autre chose que des trachytes plus compactes, qui ont été ainsi décolorés par d'abondantes émissions gazeuses et acides, qui ont changé leur nature en se chargeant de quelques-uns de leurs principes.

L'acide sulfurique qui se forme abondamment au volcan de Puracé, à Java, et qui sans doute a paru autrefois en quantité bien plus grande, ne peut, en raison de sa grande énergie, s'éloigner beaucoup de son point de naissance ; il doit décomposer une foule de corps pour s'en approprier les bases ; il doit surtout agir sur les matières calcaires et for-

mer des gypses. C'est peut-être à une action de cette nature qu'il faut rapporter l'origine des grandes masses de sulfate de chaux, et certains dégagements d'acide carbonique.

L'acide hydrochlorique doit agir de même en formant des muriates solubles, que les eaux entraînent aussitôt, ou qui se développent sous forme d'efflorescences. On le trouve aussi emprisonné dans des roches poreuses, comme celles de Sarcouy, en Auvergne.

Dès que les acides sulfurique, hydrochlorique, carbonique, se dégagent en abondance des volcans, du moment où l'on sait que les roches volcaniques contiennent presque toutes de la soude, de la silice, de l'alumine, du fer et de la magnésie, on conçoit de suite les nombreuses combinaisons qui peuvent s'opérer, et quelle variété de sels doivent offrir les environs des volcans, comme toutes les contrées qui ont été autrefois soumises à ce genre d'action.

Les sulfures d'arsenic se rencontrent aussi dans les mêmes circonstances. Breislack indique leur présence à la sulfatère.

Le sulfure de fer peut aussi se produire par sublimation, et a été trouvé, quoique rarement, au milieu des produits des volcans.

Le sulfate et le muriate d'ammoniaque cristallisent dans les fissures des laves, et des réactions analogues s'opèrent pendant la combustion des houilles, car un grand nombre de cristaux d'ammoniaque muriatée tapissent les fissures du terrain qui recouvre les houilles embrasées de St.-Étienne et de Commentry.

C'est encore par sublimation que se forment ces beaux groupes de fer oligiste, que l'on rencontre dans les trachytes et dans les laves labradoriques. C'est par sublimation que l'acide sort des fissures des lagonis, et cependant ces matières ne sont pas volatiles. Il faut qu'elles soient entraînées par la vapeur d'eau ou par d'autres gaz, ou bien il faut qu'elles se forment de toutes pièces, par des réactions électro-chimiques et par des actions de présence au contact de certains corps.

Quand on a bien comparé les produits sublimés des volcans et des sulfatères, qui sont en très-grand nombre, avec ceux des filons métallifères, qui sont pour le moins aussi nombreux, on arrive à une conclusion qui

appuie fortement la théorie de la formation des filons par voie aqueuse. C'est que l'on ne trouve presque jamais de minéraux solubles dans les filons métallifères, tandis qu'ils s'abondent autour des volcans où les eaux pluviales ne tardent pas de les entraîner. Il est probable que les filons en contiendraient aussi un grand nombre, s'ils n'avaient pas été eux-mêmes les conduits que des eaux thermales, chargées de différents principes, suivaient pour se répandre au dehors. Ces eaux ont nécessairement charrié, comme elles le font aujourd'hui, toutes les matières solubles, et même une partie de celles dont l'acide carbonique favorisait la dissolution, tandis que les matériaux insolubles, ou qui devenaient moins solubles à mesure que la température s'abaissait, et qu'ils s'approchaient de la surface, se sont déposés sur les parois, qu'ils ont fini par obstruer. On explique facilement de cette manière l'inégalité de richesse des dépôts métallifères, à des hauteurs différentes, qui faisaient nécessairement varier la température et les circonstances plus ou moins favorables. Tel filon qui, à son affleurement offre un métal en abondance, peut changer de nature à une certaine profondeur, et offrir de grandes variétés, quoique toutes indépendantes de la nature de la roche. Qui sait si les eaux minérales que nous voyons de nos jours chargées de principes solubles, ne déposent pas encore à de grandes profondeurs des matières métalliques ou des minéraux cristallisés, analogues à ceux qui existent dans les filons? Les forces agissantes actuelles sont les mêmes que celles d'autrefois, affaiblies sans doute, mais elles nous montrent en petit les effets qu'elles ont produits jadis sur de gigantesques proportions. Ces faits nous semblent confirmer pleinement la savante théorie de M. Fournet qui attribue l'origine d'un grand nombre de filons à un passage des eaux thermales, et les ingénieuses recherches de M. Becquerel qui considère les réactions électro-chimiques comme une cause lente, mais continue de créations nouvelles et de perpétuels changements.

L'action la plus curieuse des diverses sublimations des matières minérales, est le changement des calcaires en dolomie, ou, autrement dit, l'addition de magnésie dans

le carbonate de chaux, par un procédé tout à fait analogue à celui de la céméntation. C'est au célèbre géologue de Buch que l'on doit cette ingénieuse théorie de la dolomisation, et les faits sur lesquels il l'a établie sont tellement positifs, les exemples sont tellement frappants et multipliés que l'on ne peut plus maintenant lui opposer le moindre doute. M. de Buch considère les dolomies (carbonate double de chaux et de magnésie) comme produites par des gaz qui se sont dégagés du sein de la terre, au moment de la sortie des mélaphyres (porphyres noirs pyroxéniques) et de quelques autres roches, en profitant de toutes les fractures que le sol venait d'éprouver.

C'est dans les Alpes du Tyrol que M. de Buch a fait cette importante observation. Dans cette contrée, qu'il a si bien décrite, se trouvent d'énormes masses calcaires qui ont été soulevées par un large dôme de mélaphyre; roche qui, selon M. de Buch, a joué le plus grand rôle dans le soulèvement d'une grande partie de la chaîne des Alpes. Au-dessus du mélaphyre, existent des couches extrêmement puissantes de calcaire qui a été élevé à une grande hauteur, et dont la masse a été très-profondément fracturée. Des cours d'eau ont agrandi quelques-unes de ces fissures primitives, et bien que d'un peu loin, cette masse semble à peine divisée par quelques fentes, de près elle se compose d'énormes quartiers à pentes abruptes et escarpées, ayant souvent plus de mille pieds de hauteur, et séparés par de petits cours d'eau, qui ravinent encore les gorges étroites qu'ils parcourent. Ce sont ces immenses fragments de roches calcaires qui ont été pénétrés de magnésie; leur structure est changée, la stratification a disparu, les joints des couches n'existent plus ni les débris des corps marins qui s'y trouvaient contenus. Toute la masse a pris la texture grenue, a acquis une blancheur éblouissante, et ressemble à de vastes manteaux, à d'immenses enveloppes qui cachent les massifs de mélaphyres qui leur servent d'axe et de support. La recherche des causes qui ont opéré de si grands changements a longtemps occupé le célèbre auteur de cette théorie dans ses courses nombreuses aux environs de la vallée de Fassa, lorsque tout à coup un point remar-

quable viut résoudre pour lui un des grands problèmes de la géologie, en ce qu'il se rattache d'une manière très-directe à l'action qu'ont dû exercer sur les roches de sédiment, les diverses éruptions plutoniques.

« Je crois, dit-il, avoir découvert, aux environs de *Trento*, la marche de la nature dans cette opération, et cette marche m'a paru si évidente, qu'au moment de l'observation même, j'ai senti la satisfaction la plus vive que j'aie jamais éprouvée dans mes courses à travers les Alpes. Quand on se trouve à *Trento*, vis-à-vis de l'enfoncement dans lequel le *val Sugana* prend naissance, on est frappé de la forme extraordinaire de deux montagnes isolées qui s'y présentent, l'une derrière l'autre : la première, en cône arrondi et pointu, ressemble à un volcan; elle porte à sa cime une petite chapelle d'où elle tire son nom de *Dosso di Santa Agatha*; la seconde, plus élevée, et d'une forme non moins élancée, se nomme la montagne de la *Celva*. A leur pied sont placés, d'un côté, le village de *Pante*; de l'autre, celui d'*Oltre Castello*. En s'approchant du cône de *Santa Agatha*, on voit qu'une grande partie du penchant vers la ville ne forme qu'un éboulement d'une blancheur éclatante. Des ouvriers y sont ordinairement occupés à tamer la masse dont la montagne se compose et à la séparer en sables de différentes grosseurs, opération qui doit paraître assez singulière sur le penchant d'une montagne calcaire à couches presque verticales. Veut-on examiner la nature de cette pierre calcaire? jamais on n'y réussit; les pièces se brisent constamment, selon la direction des fissures qui les traversent en tout sens; de gros quartiers, réduits en petits morceaux de la grosseur d'une noix, ne font pas apercevoir la moindre apparence d'une cassure fraîche. On est réellement surpris jusqu'à quel point cette montagne est crevasée et fendillée, on l'est plus encore en examinant la surface de ces fissures; partout on les voit couvertes de petits rhomboïdes qui présentent tantôt leurs faces, tantôt leurs bords et leurs angles. Quand les fissures sont plus visibles et plus larges, les rhomboïdes le deviennent aussi davantage; et si deux fissures de cette nature se croisent, on voit les rhomboïdes se combiner et former une petite masse de vraie dolomie, avec tous les carac-

tères de cette substance, tels que les colosses de *Fassa* les présentent.

» On conçoit facilement qu'une montagne déchirée et fendillée, comme nous venons de l'indiquer, doit perdre toute apparence de couches; on conçoit que des milliers de routes sont ouvertes à la magnésie pour pouvoir s'introduire et se combiner avec la pierre calcaire; on conçoit même pourquoi ces rhomboïdes ne se touchant que sur peu de points, leur formation doit s'arrêter dès que la masse calcaire leur manque; et c'est ainsi que des couches compactes remplies de coquilles peuvent se changer en une masse uniforme, blanche, grenue et saccharoïde, sans vestige de corps organisés et sans séparation horizontale quelconque. Un reste de couleur rouge, que l'on découvre sur plusieurs des morceaux, à *Santa Agatha*, fait présumer que la pierre qui a été transformée en dolomie est la même pierre calcaire rouge à ammonites, divisée en couches très-minces, qui forme la plus grande partie des penchants de la vallée de *Trento*. On s'en assure en tournant la montagne par *Pante*, vers *Oltre Castello*; on y voit ces couches en dalles immenses sans aucune altération, et formant le revers de la montagne de *Santa Agatha*. Ces couches se dirigent du nord-ouest au sud-est, et traversent toute la montagne, de manière que je suis persuadé qu'avec un peu de peine on pourrait en trouver qui, à leur extrémité nord-ouest, présenteraient tous les caractères de la formation calcaire inférieure, tandis que l'extrémité opposée serait dans cet état de décomposition, qui précède vraisemblablement la formation de la dolomie. Cette observation se répète à peu près avec les mêmes circonstances sur la grande route de *Covizzano* à *Trento*. En sortant du premier de ces endroits, les masses pyroxéniques, qui sont la cause d'un changement si extraordinaire, ne sont pas fort éloignées. On les voit au pied de la colline de *Santa Agatha*; elles traversent la gorge de la *Fessina*, et se retrouvent sur la grande route dans le village de *Cognola* même. Ce sont des boules noires à couches concentriques et à noyau solide telles qu'elles forment généralement l'extérieur de masses compactes, soit de porphyre pyroxénique, soit de basalte. Des roches analogues se retrouvent encore plu-

sieurs fois dans les environs de *Metta* et *Gardolo*. La cime de la montagne de *Gardolo* et celle de *Saint-Marcello*, qui en forme la continuation et se prolonge en chaîne très-élevée jusqu'à *Figolo*, sont composées d'une dolomie des plus saccharoïdes et des plus brillantes, parsemée de vides et de trous qui sont tapissés de petits rhomboïdres. Ces mêmes dolomies forment aussi l'immense montagne de la *Scanupia*, au-dessus de *Catiano*; puis elles descendent, et on les retrouve tout le long de la vallée de *Lagarina* jusqu'à la *Chiusa*. Plusieurs couches calcaires rouges, non transformées en dolomie, forment le haut; plus loin se rencontrent les oolithes et d'autres dépôts caractéristiques de la formation du Jura, formation dont se composent et le *Monte Baldo* et les montagnes des *Sette-Comune*. Les dolomies s'enfoncent vers la *Chiusa*, au-dessous de la surface de la vallée; les oolithes les suivent, et pour la première fois, on les retrouve dans le bas, dans la gorge même de la *Chiusa*. Les couches du côté gauche, qui jusqu'alors s'étaient inclinées vers l'est, tournent peu à peu et affectent dans le défilé une inclinaison vers le sud; elles continuent ce mouvement vers *Rivoli*, où elles se trouvent avoir entièrement la direction et l'inclinaison de celles du *Monte Baldo*. Elles forment donc pour ainsi dire, de toute la vallée de la *Lagarina*, une espèce de chaudière allongée dont les dolomies composent la bauge inférieure. C'est là que se terminent les montagnes, et vraisemblablement aussi les effets du porphyre pyroxénique. »

M. de Buch cite aussi la contrée de *Lugano* comme un point classique pour l'étude de ces phénomènes.

Là, comme dans le Tyrol, les dolomies touchent rarement à ces colonnes centrales qui, au moment de leur élévation, ont rejeté de côté les roches primitives; elles se lient donc aux mélaphyres, par suite du rôle essentiel que jouent ces derniers dans la constitution des massifs de roches non stratifiées, mais non, dans le plus grand nombre de cas, par un contact immédiat et visible. Au contraire, on peut dire que les dolomies se trouvent toujours dans le voisinage de la fracture qui a dû se former entre les roches primitives soulevées et les roches primitives de

même nature restées à leur ancienne place.

« Les circonstances, dit M. Fournet, sont absolument les mêmes pour les filons métallifères. Les uns, en petit nombre, sont en contact immédiat avec les roches plutoniques; les autres se sont distribués dans leur voisinage ».

Le calcaire compacte, en se transformant en dolomie, devient toujours grenu. On remarque ce changement partout, et principalement dans les éjections calcaires du Vésuve, qui sont constamment aussi de la dolomie grenue; leur seul aspect le prouve, et l'analyse chimique de MM. Smithson, Tennant et Léopold Gmelin, a confirmé ce qu'en indiquaient déjà les caractères extérieurs. Des phénomènes entièrement analogues se présentent dans les environs de Rome, sur les bords du lac d'Albano: le *Peperino* y est rempli de blocs de dolomie d'une blancheur éclatante, les calcaires du Vésuve sont crevassés et fendillés comme les dolomies de Fassa, et ce n'est que dans les fissures que l'on trouve superposés, couche par couche, d'abord des cristaux qui renferment de la magnésie et de la silice, enfin, comme les plus récents, des cristaux de silice hydratée (zéolithes). Un minéralogiste anglais, qui a résidé longtemps à Naples, M. William Thompson, a émis depuis longtemps l'opinion que ces dolomies du Vésuve sont le calcaire même des Apennins, rendu grenu par le feu volcanique, et rempli de cristaux par voie de sublimation; en effet, les dolomies du Vésuve ne peuvent avoir appartenu à des montagnes primitives, car elles n'offrent jamais dans leur masse une trace de talc ou de mica, deux substances qui ne manquent jamais dans la masse des dolomies du Brenner intercalées au schiste micacé. Or, d'après les analyses de Klaproth, le calcaire compacte des Apennins ne présente pas un atome de magnésie, et cette terre, surajoutée dans l'intérieur du volcan au calcaire compacte, ne peut aussi être due qu'à une pénétration ».

Des roches très-différentes peuvent produire la dolomisation, pourvu qu'elles contiennent

¹ Fournet, p. 225.

² Extrait d'une lettre de M. L. de Buch à M. Alois de Pfaueller. *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXIII, p. 405.

de la magnésie; car il paraît que c'est aux dépens de celle qui est renfermée dans les pyroxènes des mélaphyres que la réaction s'opère. Les basaltes agissent de même, comme on le remarque sur plusieurs points de l'Auvergne.

M. Le Play a reconnu en Espagne, près de Badajoz, des calcaires très-récents, transformés en dolomies par des injections d'euphotide¹.

M. Dufrenoy a vu aussi dans les Pyrénées des terrains calcaires qui étaient altérés par la présence de l'*ophite*; les parties en contact avec cette roche sont à l'état de dolomie. Le gypse lui-même n'est peut-être que le résultat d'une altération du même genre. Enfin, dans cette même localité, l'*ophite* est souvent accompagnée de beaucoup de substances étrangères, telles que *fer oxydulé*, *fer oligiste*, *quartz cristallisé*, *épidote*, etc.².

Ces minéraux ont peut-être été produits par des procédés analogues à ceux de la dolomisation; car, en considérant ce phénomène en grand, c'est-à-dire en faisant abstraction de la nature des roches pénétrées, et de la composition des vapeurs pénétrantes, on ar-

rive à reconnaître que les terrains de sédiment, à couches redressées, sont les seuls qui renferment un certain nombre de substances minérales analogues à celles qui contiennent les roches cristallisées; ces minéraux se sont pour la plupart sublimés par les fractures. On peut aussi expliquer de la même manière cette sorte de *pénétration* qui change la nature des roches sédimenteuses à leur point de contact avec les roches d'épanchement, et qui établit ces nombreux passages quelquefois si bien fondus entre ces deux sortes de roches.

Il reste encore un grand nombre de points à éclaircir dans la vaste question de la dolomisation, et de bien belles études pour un chimiste géologue; c'est une question neuve, à laquelle M. de Buch a su donner tout l'intérêt qu'inspirent ses vues profondes et la haute sagacité de son jugement. Cette question, liée à la théorie des soulèvements, de M. de Beaumont; à celle de la chaleur centrale, par M. Cordier; aux recherches savantes sur l'électro-chimie, par M. Becquerel, ouvre au géologue une carrière nouvelle et neuve à parcourir.

CHAPITRE TRENTE-UNIÈME.

PHÉNOMÈNES DE REFROIDISSEMENT ET DE LIQUATION.

Nous venons de voir comment de nouveaux éléments pouvaient pénétrer par contact dans des roches préexistantes. et ces sortes d'actions sont certainement très-fréquentes dans la nature. La silice, la chaux, la magnésie et plusieurs autres substances entrent ainsi jusqu'à une grande profondeur, et modifient to-

talement l'aspect et la nature des roches. Nous allons terminer ce qui est relatif à ces différents phénomènes chimiques, en étudiant ce qui se passe pendant le refroidissement de ces matières.

Nous avons déjà supposé, en parlant du granite qui se décompose en boules très-volumineuses, que ce genre d'altération avait pour cause première un phénomène de refroidissement. Une expérience curieuse de M. Gregory Watt, sur la structure des basaltes, vient confirmer cette opinion. Après avoir fondu une masse de basaltes non cristallisés, pesant

¹ LE PLAY, Observations sur l'Estramadure et le nord de l'Andalousie. *Annales des Mines*, 3^e série, t. VI, p. 375.

² DUFRENOY, Relation des ophites, des gypses et des sources salées des Pyrénées. *Annales des Mines*, 3^e série, t. II, p. 21.

700 livres, ce savant a observé avec soin les différentes phases de son refroidissement, et il a remarqué qu'une portion de la masse retirée, pendant que le basalte était en fusion, devint parfaitement vitreuse, tandis que la même matière donna naissance à un certain nombre de masses sphéroïdales présentant une texture radiée avec des fibres distinctes qui formaient aussi des couches concentriques, quand les circonstances n'étaient favorables qu'à cet arrangement. Cette structure disparaissait graduellement par une chaleur suffisamment continuée; les centres de la plupart des sphéroïdes devenaient compacts avant que leur diamètre eût atteint un demi-pouce, et cette structure s'étendait peu à peu à toute la masse du sphéroïde. En continuant, dit M. Watt, la chaleur favorable à cet arrangement des molécules, on obtint promptement une autre modification. La texture de la masse devint plus granulaire, la couleur plus grise et les points brillants plus grands et plus nombreux. Bientôt ces molécules s'arrangèrent en formes régulières, et finalement toute la masse devint parsemée de petites lames cristallines qui la traversaient dans toutes les directions et qui formaient des cristaux saillants dans les cavités.

M. Watt a remarqué aussi que deux sphéroïdes qui vinrent à se rencontrer ne se pénétraient pas, mais se comprimaient mutuellement, au point de s'aplatir, et se trouvaient séparés par un plan couleur de rouille.

Il était facile, comme on le prévoit, d'appliquer ces données à la structure des basaltes, qui tantôt sont en boules, qui d'autres fois sont en prismes composés de boules superposées et aplaties, qui enfin offrent souvent des articulations qui semblent provenir du développement inégal de deux boules, dont l'une, en grossissant plus vite, aurait comprimé l'autre. Du reste, ces différentes structures du basalte ne s'aperçoivent souvent qu'à l'époque de leur décomposition, comme les masses de glaces qui ne révèlent leur mode de cristallisation qu'en commençant à fondre.

Il a dû se passer dans le refroidissement des autres roches des phénomènes tout à fait analogues à ceux que nous présentent les basaltes.

Les cristaux que l'on rencontre dans la plupart des roches d'épanchement, ont nécessairement une origine ignée, comme les roches dans lesquelles ils se trouvent. A l'époque où l'on regardait les volcans comme des phénomènes locaux, on a discuté longtemps si les cristaux des laves étaient tout formés dans les roches que l'on supposait fondues pour les former, ou s'ils étaient créés de toutes pièces pendant leur refroidissement. D'après la manière dont on envisage aujourd'hui les phénomènes volcaniques, il faut nécessairement adopter la dernière de ces deux suppositions. Elle est du reste confirmée par de nombreuses expériences; car il est plusieurs minéraux que l'on est parvenu à obtenir cristallisés en réunissant leurs éléments, et les soumettant ensemble à une température élevée. M. Mitscherlich a produit entre autres de cette manière des pyroxènes très-bien déterminés; M. Kerston de Freiberg a observé des cristaux prismatiques de feldspath qui avaient été trouvés par M. Heine sur les parois d'un fourneau à fondre le cuivre dans l'usine de Sanderhausen. Tous les jours, dans les cavités des laitiers et des scories des différentes exploitations de mines, on découvre ainsi de nouveaux cristaux, qui ont tant d'analogie avec ceux qui se trouvent dans la nature, que l'on ne peut douter un instant de leur identité de composition et de leurs rapports d'origine. Il faut donc admettre que les cristaux que l'on rencontre dans les laves, et ceux qui abondent disséminés dans la pâte des roches primitives, ont été formés par une sorte d'élection élémentaire au milieu même des masses fondues qui les contiennent. C'est pendant le refroidissement des roches que leur cristallisation s'est opérée, et souvent même à une époque très-avancée du refroidissement. Ce qui tend à le faire supposer, c'est que certains cristaux, les divers zéolithes, par exemple, sont décomposés à une température élevée et retiennent toujours une certaine quantité d'eau. Quelques géologues, parmi lesquels se trouve M. Fournet, regardent même l'apparition de ces cristaux comme postérieure au refroidissement des roches qui les renferment: il suppose qu'ils se sont formés par voie d'infiltration. Malgré l'autorité de M. Fournet en

pareille matière, il est bien difficile d'admettre cette opinion. Il semble plus naturel de supposer, avec M. Brongniart, que la masse de la roche était imbibée de ces dissolutions avant son entier refroidissement, et que les cristaux se sont formés à une température qui était encore assez élevée dans l'intérieur des cavités.

D'autres faits viennent aussi appuyer la supposition que la plupart des cristaux se sont formés à une température élevée, c'est la présence de l'eau ou de gaz très-dilatés, formant des bulles dans des cristaux. H. Davy, Brewster et plusieurs autres physiciens célèbres se sont occupés de l'analyse des gaz et des liquides contenus dans toutes ces petites cavités, et en général ils ont remarqué une prompt absorption dès que la cavité était percée; ce qui prouve que l'air ou l'eau qui s'y trouvait, avait été enfermé à une température élevée. Il est vrai que des phénomènes inverses se sont aussi présentés quelquefois, mais plus rarement, et en quelque sorte comme des exceptions qu'une haute pression peut encore expliquer¹.

Les minéraux disséminés, les cristaux qui donnent aux roches la structure porphyroïde, et qui par conséquent y sont empâtés, doivent donc être considérés comme des formations contemporaines de ces mêmes roches, et comme formés pendant leur refroidissement. Leurs éléments se sont séparés de la masse et ont formé un grand nombre de petits centres; comme les boules de fer sulfuré et les cristaux de gypse se sont séparés des matières argileuses dans lesquelles on les trouve aujourd'hui, comme les silices se sont isolés de la chaux carbonatée qui a formé la craie blanche.

Il n'en est pas de même des cristaux contenus dans les fentes ou fissures et non empâtés: ceux-là ont pu être formés par des dissolutions plus ou moins concentrées, par

des sublimations, par des actions de contact ou par la dolomitisation.

Il semble aussi que, dans certaines circonstances, des cristaux puissent se former dans des roches préexistantes, soumises à la fusion et au refroidissement. Les domites d'Auvergne m'ont toujours paru des roches de ce genre, une sorte de conglomérat amené à l'état pâteux par la chaleur des volcans modernes qui ont éclaté sous cette enveloppe trachytique, et qui, après avoir sublimé du fer oligiste dans les fractures, ont laissé former par le refroidissement des cristaux de feldspath, d'amphibole, de titane, etc., dans la masse ramollie du conglomérat².

M. Virlet croit aussi que, dans l'île de Cimolisi, des cristaux de feldspath vitreux se sont formés dans certains conglomérats poreux, au moment où ils devenaient, par une sorte de fusion, des espèces de porphyres verts siliceux. M. Virlet entrevoit même la possibilité de la formation en place de porphyres et de trachytes, par suite d'actions chimiques et électro-chimiques dans des roches agrégées, espèce de transmutation que M. Boué eroit aussi seule capable d'expliquer certains bancs et amas cristallins, et certains passages au milicu du sol schisteux ancien.

Enfin, nous terminerons ce chapitre par quelques considérations sur la *liquation des roches*, phénomène que l'on a peu étudié et qui peut-être pourra éclairer quelques points de géologie chimique. Lorsque deux corps différents sont fondus et mélangés, on sait que s'il n'y a pas combinaison chimique, ces corps tendent à se séparer si leur pesanteur spécifique est différente. Ainsi, dans la fabrication de la plupart des alliages, si l'on n'agitait pas le mélange, le métal le plus lourd gagnerait le fond et le plus léger viendrait à la partie supérieure. Il n'y aurait pas séparation entière et tranchée, il y aurait toujours mélange, mais très-inégal, surtout au fond et à la partie supérieure du vase où se serait effectué le mélange. Des phénomènes analogues se passent dans les roches que nous voyons refroidir sous nos yeux. Les laves

¹ Voyez, pour plus de détails sur cet objet: Sur l'état où se trouvent l'eau et les matières adri-formes dans les cavités de certains cristaux, par sir Humphry Davy (*Annales de Chimie*, t. XXI, p. 132 et 220); Sur l'existence de deux nouveaux fluides dans les cavités des cristaux, par le docteur Brewster (*Annales de Chimie*, t. XXIII, p. 305).

² *Annales scientifiques de l'Auvergne*, 1828, février.

modernes nous en offrent des exemples très-positifs. Ces laves sont composées principalement de deux sortes de substances : le *feldspath* et le *pyroxène*. Si la première domine, c'est une lave *feldspathique*; si c'est la seconde, la lave est *pyroxénique*. Or, il est très-rare de rencontrer un courant de lave dont toutes les parties soient homogènes; presque toujours il y a des différences de composition dans les différents points du courant, et l'on trouve que le *pyroxène* abonde plus à l'extrémité qu'à la naissance. Si l'on se rappelle le degré de fusibilité du *pyroxène* et du *feldspath*, on trouvera une différence notable. Le *pyroxène* est bien moins fusible que le *feldspath* et se refroidit plus lentement; en sorte qu'il se forme dans les courants, pendant qu'ils marchent, une sorte de *liquation* semblable à celle qui a lieu dans plusieurs opérations métallurgiques. Dans le même espace de temps, il se refroidit plus de *feldspath* que de *pyroxène*, et ce dernier se réunit aux extrémités du courant.

Outre la plus grande fusibilité de cette substance minérale, il est une autre cause qui détermine sa séparation, c'est sa plus grande densité : le *feldspath* pèse 2,42 à 2,60, tandis que le *pyroxène* pèse jusqu'à 3,40. Les deux matières fondues et mélangées, se trouvant ensemble sur un plan incliné, le *pyroxène* se sépare et gagne peu à peu la partie inférieure. La longue fluidité des laves, à leur sortie des cratères, favorise beaucoup ces phénomènes. On peut, du reste, en voir un exemple bien marqué sur

la grande coulée de lave de Pariou, en Auvergne*.

M. J. Reynaud, dans son beau *Mémoire sur l'Eifel*, en cite aussi un exemple bien remarquable :

«..... La lèvre de ce cratère est arrachée sur le côté, et une coulée de lave qui s'en échappe descend jusque dans la vallée et forme, en tombant, une cascade si escarpée et si abrupte, qu'il est bien difficile de se hasarder à la suivre. On éprouve un vif étonnement lorsqu'en accompagnant la marche de cette coulée, on la voit tout à coup prendre l'aspect noir et compacte du basalte, et même dans sa partie inférieure affecter très-sensiblement la forme colonnaire des vrais basaltes ».

Il est bien probable que des actions analogues à celles que nous venons de décrire, et qui se passent de la manière la plus évidente, pendant la marche et le refroidissement des courants de lave, ont eu lieu aussi pendant le refroidissement des autres roches d'épanchement. On expliquerait peut-être ainsi dans beaucoup de circonstances les différences notables que l'on remarque dans une même masse de roche, mais on n'a pas encore étudié les roches cristallisées sous ce point de vue, et il serait d'ailleurs très-difficile de reconnaître leur point d'origine et la limite de leur cours qui, généralement, a eu lieu sur des plans très-peu inclinés.

* Description du volcan de Pariou, p. 78.

* JEAN REYNAUD, sur les Formations volcaniques des bords du Rhin, t. II, p. 387.

CHAPITRE TRENTE-DEUXIÈME.

DE L'AGE ET DE LA SUPERPOSITION DES TERRAINS.

Depuis le commencement de cet ouvrage nous nous occupons des causes ; nous allons actuellement examiner les effets ; mais le nombre des faits est si grand dans l'étude de la géologie, qu'il est impossible de les recueillir tous dans un ouvrage élémentaire ; ce sont donc des traits généraux que nous allons offrir en parlant des terrains ; ce sont les traits saillants qui les caractérisent, et non la masse infinie de détails qui les différencie dans chaque localité, que nous voulons décrire. Nous avons cru qu'il était possible, jusqu'à un certain point, de présenter avec un peu de méthode les diverses modifications que les forces agissantes ont imprimées aux différentes masses dont se compose la terre, tandis qu'il était impossible de les décrire minutieusement. Ces considérations nous ont engagé à restreindre cette description des terrains ; ils ne peuvent d'ailleurs être étudiés avec détail, et d'une manière pratique, que sur le sol même, et alors toutes les descriptions qui ont été faites dans les ouvrages élémentaires deviennent insuffisantes. Ce sont des descriptions locales qu'il faut lire sur les lieux ou qu'il faut faire, si elles n'existent pas.

Nous savons déjà qu'il existe deux sortes de roches, dont les unes, stratifiées, ont été formées par voie de dépôt ou de sédiment chimique ou mécanique, et les autres par cristallisation ou fusion. Ces deux modes de création des roches vont servir de base à notre classification. Nous étudierons successivement les unes et les autres. Avant de commencer cet examen, nous devons chercher une ligne de niveau au-dessus et au-dessous de laquelle nous puissions nous élever et descendre, une sorte d'horizon qui nous serve de point de départ, comme le ni-

veau de la mer est le zéro des hauteurs et des profondeurs.

La difficulté est de déterminer cet horizon. Deux forces tout à fait inverses agissent, comme nous l'avons vu, à la surface du globe, et ces forces agissent depuis longtemps ; ce sont elles qui ont donné naissance à toutes les roches, l'une par la fusion, l'autre par la dissolution aqueuse. Il nous semble naturel de prendre pour point de départ la première roche formée à la fois par ces deux puissances, celle qui a dû résulter de leur premier contact, roche qui correspond à l'époque où les eaux ont commencé à toucher la surface de la terre. Cette roche formera pour nous un terrain originaire ou primitif, qui sera le zéro de notre échelle : au-dessus, tous les autres terrains appartiennent aux sédiments ; au-dessous, tous sont d'origine ignée.

Si nous supposons que la terre, pendant son refroidissement, n'a éprouvé aucune secousse ; si nous admettons une succession tranquille des différentes couches, opérée par dépôt et par refroidissement ; si, enfin, les phénomènes qui leur donnent naissance s'étaient étendus régulièrement sur tout le sphéroïde terrestre, il résulterait nécessairement de cet arrangement, qu'au-dessous de la *couche originaire* de nouveaux terrains se seraient solidifiés dans un ordre constant, de sorte que les plus anciens seraient les plus rapprochés de la surface, et les plus nouveaux les plus profondément placés. Au-dessus de cette couche originaire, se seraient déposés tous les terrains de sédiment, et de telle manière que les plus anciens seraient aussi en contact avec cette première couche, et les plus nouveaux seraient situés tout à fait à la surface. Par cette disposition, deux ordres de dépôts se seraient groupés en sens différents, au-dessus

et au-dessous de l'horizon géologique, et devaient offrir d'autant plus de différences entre eux qu'ils occupaient une place plus rapprochée de l'époque actuelle dans l'échelle de chaque série.

Les rapports qui doivent nécessairement avoir existé au point de contact des deux ordres de création, doivent avoir graduellement diminué à mesure que la couche qui les séparait est devenue plus épaisse, et à une certaine époque toute espèce d'action de l'une sur l'autre a dû cesser entièrement. Or, ces phénomènes sont précisément ceux qui, selon toute apparence, se sont passés dans les différentes phases du refroidissement de notre planète, avec cette différence que de violentes secousses ont dérangé la régularité des dépôts, des inégalités de niveau ont circonscrit l'étendue des sédiments, et des fractures opérées dans des temps plus ou moins rapprochés ont permis aux matières encore pâteuses, qui se solidifiaient à l'intérieur, de se faire jour au dehors, de s'épancher à la surface ou de se glisser entre les couches des différents sédiments. Il est résulté de toutes ces commotions d'immenses dérangements dans la stratification des terrains, de grandes irrégularités dans l'épanchement des roches intérieures, de grandes actions de contact entre les roches incandescentes et celles qui s'étaient formées sous l'eau, enfin une foule de réactions que nous avons déjà étudiées précédemment et qui vont trouver ici de fréquentes applications. En résumé, toute la classification des terrains offre trois grandes divisions :

- 1° TERRAINS ORIGINAIRES OU PRIMITIFS, qui ont été formés au point de contact des deux forces qui ont agi dans la formation de l'écorce de la terre ;
- 2° TERRAINS DE SÉDIMENT DÉPOSÉS PAR LES EAUX ;
- 3° TERRAINS D'ÉPANCHEMENT OU DE PÉNÉTRATION, dont l'origine est au-dessous des terrains originaires et qui, après avoir traversé ces derniers, se sont injectés de différentes manières dans toutes les roches existantes à l'époque de leur sortie, ou se sont épanchés à leur surface.

Nous subdiviserons ensuite ces grandes masses en plusieurs groupes qui diffèrent

plus ou moins par divers caractères. Nous commencerons naturellement par décrire les terrains originaires ; immédiatement après, nous étudierons les terrains de sédiment, en commençant par les plus anciens, qui se lient au sol primaire, et en remontant la série jusqu'à l'époque actuelle. Nous reprendrons ensuite les terrains d'épanchement ou de pénétration, en commençant par les plus anciens, c'est-à-dire les plus rapprochés de la couche originaire, et en remontant encore jusqu'à ceux qui se forment de nos jours.

DU TERRAIN ORIGINAIRE OU PRIMITIF.

Ce terrain est composé de deux roches principales : le *gneiss* et le *micaschiste*, qui, si elles ne sont pas les premières solidifiées à la surface du globe, offrent, du moins les premières, des caractères qui indiquent l'action de l'eau et d'une chaleur très-intense. A ces deux espèces, il faut peut-être ajouter le *granite*, puis quelques autres roches qui, relativement à celles-ci, ne jouent plus qu'un rôle subordonné.

Le *gneiss* est principalement composé de feldspath et de mica, mais il renferme aussi du quartz.

Le *micaschiste* est du mica et du quartz ; il contient souvent aussi du feldspath.

Le granite ordinaire est formé de feldspath, de quartz et de mica.

Le *gneiss* offre une sorte de stratification qu'il ne faut pas confondre avec celle des véritables terrains de sédiment. Ce sont des feuillets appliqués les uns sur les autres et dont les surfaces sont souvent indiquées par la situation à plat des lames de mica. Ces feuillets, dont l'épaisseur varie beaucoup, sont souvent contournés dans toutes les directions. Les proportions des principes constituants de cette roche sont très-variables, mais c'est généralement le feldspath qui domine. Le *gneiss* est caractérisé par la présence d'un certain nombre de minéraux, tels que le grenat, la pyrite de fer en petits lits, le quartz hyalin, le fer carbonaté, le cuivre gris, l'argent natif, etc.

Le *micaschiste* offre une structure encore plus feuilletée que celle du *gneiss*, et renferme presque toujours du feldspath ; ses feuillets

sont aussi souvent très-contournés et renferment un grand nombre de minéraux disséminés, tels que le quartz blanc, la tourmaline, le disthène, la staurotite, le fer oligiste, le fer hydroxide, etc.

Le granite est moins riche en minéraux disséminés; il n'offre jamais de structure schisteuse, comme les deux roches précédentes, mais il en diffère bien peu par sa composition. Ces différentes roches passent de l'une à l'autre, avec la plus grande facilité, au point que l'on pourrait, à la rigueur, les considérer comme des modifications d'une seule et même espèce. On les voit quelquefois alterner, au moins les deux premières, revenir ensuite, comme à des époques périodiques, reparaitre au milieu des autres, se montrer quelquefois comme roches indépendantes et, dans d'autres circonstances, en lits subordonnés. Jamais il n'existe de limites tranchées entre une couche de gneiss et un lit de micaschiste; jamais le granite n'est séparé brusquement de ces deux roches, sans qu'on voie sa pâte se charger successivement de mica, puis de quartz, et prendre peu à peu les caractères de la substance qui va le remplacer.

Telle est la première écorce du globe, la croûte qui s'est formée la première au contact de l'eau et de la surface incandescente de la terre.

Cette croûte, la première formée, a dû nécessairement être percée avec la plus grande facilité, par un grand nombre de matières; de nombreuses fractures s'y sont montrées à toutes les époques, et lorsque après les dépôts de sédiment qui l'ont recouverte, la croûte de la terre a de nouveau été ébranlée, lorsque le soulèvement des chaînes de montagnes s'est opéré, la couche originaires a toujours été brisée; des sublimations ont eu lieu dans ses fentes, des eaux minérales les ont traversées, et il en est résulté, qu'à l'époque actuelle, les gneiss, les micaschistes et les diverses roches feuilletées qui leur sont subordonnées, sont devenues les principaux gîtes des métaux et des autres substances minérales, du moins pour tout l'ancien continent.

L'apparition des gneiss et des micaschistes est une conséquence forcée de la chaleur centrale. Admettons un instant l'incandescence

du globe, et voyons comment le refroidissement va s'opérer. Une chaleur intense comme celle qui a dû exister à cette époque sur notre planète, forçait les eaux de rester dans l'atmosphère; toute la masse qui emplit maintenant le bassin des mers, toute celle qui est infiltrée et absorbée par la portion refroidie de la terre, faisait alors partie de l'atmosphère. Qu'on juge de l'énorme pression à laquelle la surface du globe était soumise, lorsqu'une atmosphère aussi étendue pesait tout entière sur la pellicule qui commençait à se figer! M. Reboul a cru pouvoir déterminer approximativement cette température par des rapprochements très-ingénieux. Les roches originaires contiennent du fluaté de chaux, mais elles ne renferment pas de carbonates qui peuvent être décomposés à une certaine température, insuffisante pour décomposer les fluates. M. Reboul conclut de cette observation que la température de 260°, qui aurait suffi pour prévenir la formation des carbonates et pour maintenir l'eau bouillante sous une pression de 50 atmosphères, était celle de cette époque¹; mais nous ignorons tout à fait si alors il existait déjà de l'acide carbonique dans l'atmosphère, et quelles modifications une énorme pression pouvait apporter à ces résultats. Nous pouvons donc supposer que les eaux étaient extrêmement chaudes, et que l'oxidation commençait par les corps légers qui s'étaient rassemblés à la surface du bain. Ces corps étaient certainement le silicium, le potassium, le sodium, l'aluminium, qui, par leur prompt oxidation, produisirent d'énormes quantités de silice, de potasse, de soude et d'alumine. Les curieuses expériences de M. Berzélius ont démontré la solubilité de la silice au moment de sa formation et son insolubilité parfaite dès qu'elle a acquis un certain degré de cohésion. D'un autre côté, la potasse et la soude en dissolution dans les mêmes eaux, devaient avoir une puissance dissolvante d'autant plus grande, qu'elles étaient sans doute à l'état caustique, ce qui ferait croire à l'absence de l'acide carbonique qu'elles peuvent absorber à une haute température, on à la puissante action de l'acide silicique qui se

¹ *Revue de la Période primaire*, p. 200.

formait alors en immense quantité. Le silicium était certainement le métal prédominant ; car la silice qui, dans le feldspath comme dans la plupart des minéraux formés à cette époque, jouait le rôle d'acide et s'unissait en proportions définies avec toutes les bases qu'elle rencontrait, a encore laissé des dépôts intacts qui se sont solidifiés par la suite et ont formé ces quartz blancs hyalins ou opaques qui constituent des montagnes entières et quelquefois des couches ou murs très-puissants, subordonnés aux gneiss et aux micaschistes. C'est à cette époque que le quartz se mélangeant au micaschiste, a produit cette roche quartzense ou *hyalomite* renfermant de l'oxide d'étain, qui est aussi l'un des métaux les plus anciennement formés.

L'*itacolumite* du Brésil et différentes roches de quartz se formaient en même temps. M. Eschwege suppose même qu'une de ces roches de quartz est le gîte primitif du diamant. Le carbone existait alors dans les terrains primitifs, mais à l'état de pureté et solidifié sous des circonstances tellement circonscrites, que depuis cette époque elles ne se sont plus présentées. L'or se rencontre aussi dans ces mêmes roches, mais en petite quantité.

Outre le mica et le feldspath qui se sont produits en grande abondance, il s'est aussi formé quelques roches à base d'amphibole, ainsi que des enrites ; mais il est remarquable que toutes ces roches ont conservé une structure schisteuse qui caractérise cette grande enveloppe primaire, qui a couvert le globe sur la majeure partie de son étendue, et peut-être sur sa surface entière.

C'est seulement vers la fin de la période primaire que l'on aperçoit quelques calcaires ou marbres blancs saccharoïdes ou lamellaires empâtés dans les gneiss ou alternant avec eux, mais n'offrant jamais l'apparence terrene de ces nombreux calcaires de sédiments que nous verrons venir par la suite. Leur grain cristallin indique à la fois et la température élevée et la haute pression à laquelle ils étaient soumis. En même temps que ces calcaires, c'est-à-dire à la même époque, se trouvent quelques veines de gneiss coloré en noir par la présence du graphite ou carbure de fer. C'est, après le diamant que nous avons déjà

signalé, la première apparition du charbon, possédant cette fois ses caractères ordinaires, ou du moins la teinte noire qu'il offre ensuite dans tous les autres dépôts.

Les granites contenus dans ces gneiss et ces micaschistes sont quelquefois très-étendus, mais nous ne savons pas encore si ce ne sont pas déjà des épanchements qui se seraient fait jour à travers la couche mince du terrain originaire ; les passages d'une roche à l'autre sont si fréquents et sont tellement insensibles qu'il est impossible d'avoir une idée arrêtée sur cette question ; il serait peut-être plus rationnel de considérer tous les granites comme épanchés sur les gneiss et les micaschistes. Les terrains originaires ne renferment aucune trace de corps organisés, et tout annonce en effet que la vie organique ne pouvait pas exister à la température sous laquelle ils se sont formés ; ce n'est qu'à la fin de cette longue période que les points émergés se sont couverts de végétaux, et que des animaux singuliers se sont développés dans les eaux chaudes répandues çà et là sur la terre.

Un des phénomènes les plus curieux de cette période, c'est le mouvement que devait éprouver la surface de la terre par l'attraction de la lune et du soleil, mouvement analogue à nos marées actuelles, qui devait s'exécuter sur une immense atmosphère et agir aussi sur la masse fondue du globe. Ce furent là les premiers soulèvements de la terre, et quand déjà quelques couches minces étaient figées, elles étaient de nouveau brisées ou pliées par les grandes marées qui, à des époques périodiques, venaient agiter ces premiers terrains. C'est sans doute à ces mouvements réguliers, et si souvent répétés, avec quelque différence d'intensité, que sont dus ces lames de gneiss et de micaschistes, ces plissements de la roche originaire, dont les fenilles minces et serrées, de nature et d'épaisseur variables, se suivent avec un parallélisme parfait, malgré toutes les ondulations auxquelles ils obéissent. Plusieurs couches, déjà formées et soulevées par des marées extraordinaires, ont dû retomber sur elles-mêmes, et produire en partie ces zig-zag si singuliers que l'on ne rencontre que dans ces roches, et qui supposent un grand état de mollesse et par suite une grande flexibilité.

Ces terrains ont du reste une grande épaisseur, autant qu'on peut en juger par la tranche des couches mises à découvert dans les soulèvements postérieurs. Ces masses, ainsi soulevées et déchirées, se sont dégradées de nouveau, et présentent généralement des montagnes escarpées à crêtes aiguës et déchiquetées, qui se reconnaissent facilement de loin. Celles au contraire qui résultent des premiers soulèvements de terrains originaires, sont des montagnes arrondies, à pentes peu prononcées, mais dont les surfaces se décomposent avec la plus grande facilité, et se détachent en fragments nombreux. Ces terrains sont à découvert sur une grande partie du globe; ils forment de vastes plaines, de larges plateaux sur lesquels le gneiss et le micaschiste se montrent presque indistinctement. Il est cependant assez singulier que les circonstances qui tendaient à produire tantôt du feldspath,

tantôt du quartz, et par conséquent à créer des gneiss ou des micaschistes, se soient reproduites à des époques différentes et presque périodiques; car on voit ces roches alterner ensemble et quelquefois même avec le granite, et quoiqu'on regarde généralement le gneiss comme une roche plus ancienne que le micaschiste, il est bien difficile de prouver cette assertion.

On voit que l'on pourrait avoir besoin de distinguer dans les terrains primitifs plusieurs formations particulières, telles que *gneiss*, *micaschiste*, *gneiss* et *granite*, *gneiss* et *micaschiste*, etc.; mais il est douteux que ces formations soient réellement indépendantes, et ces terrains, malgré tout l'intérêt qu'ils présentent, ont été si peu étudiés, qu'il reste encore une foule de faits à observer avant de pouvoir y former des coupes naturelles et des divisions conformes à leur ordre de superposition.

CHAPITRE TRENTE-TROISIÈME.

DES TERRAINS DE SÉDIMENT.

Dès que les terrains originaires ont été consolidés, les eaux ont de plus en plus séjourné sur la terre. Le refroidissement s'opérant toujours, et une croûte de plus en plus épaisse séparant la partie incandescente de la surface, les vapeurs ont dû se condenser en plus grande quantité, et de vastes dépressions ont servi de bassins au liquide qui se formait continuellement. Aussitôt que les premiers soulèvements ou simplement l'inégalité du refroidissement eurent produit des inégalités de surface, les eaux ruisselèrent, dégradant les points sur lesquels elles tombaient, et dès lors commencèrent les premiers sédiments. On conçoit facilement toute la puissance des eaux qui, avec une température élevée, agissaient sous une forte pression, s'évaporaient et se condensaient sans cesse et produisaient ainsi des actions chimiques très-prononcées.

Ces causes réunies ont produit d'immenses dépôts dont l'âge est différent, et qui se sont succédés à des époques plus ou moins éloignées.

Ces sédiments ont pu se placer les uns sur les autres, ou se déposer les uns à côté des autres, dans des bassins contigus et non superposés.

Dans le premier cas, on n'éprouve aucune difficulté à déterminer l'âge relatif des différentes assises, puisque les plus nouvelles sont nécessairement superposées aux plus anciennes, mais il n'en est pas de même des dépôts isolés. Il devient quelquefois très-difficile, ainsi que nous l'avons déjà dit en parlant de l'âge des roches, de reconnaître leur véritable situation; il faut avoir égard aux couches sur lesquelles elles reposent, et à celles qui les recouvrent. Ainsi, un dépôt de sédiment qui

sera placé entre deux autres dépôts, offrira par cela même une détermination d'époque, parce que l'âge des terrains supérieur et inférieur étant connu, on aura deux limites entre lesquelles se placera nécessairement celui qui est douteux; mais il arrive souvent que l'on n'a pas de tels moyens à sa disposition. D'abord le terrain douteux peut ne pas être recouvert ou bien il peut reposer sur un terrain très-ancien, sur le terrain primitif par exemple, et s'il appartient aux assises moyennes ou supérieures des terrains de sédiment, ce sol inférieur ne servira pas non plus à préciser sa date, en sorte que dans ces différents cas, lorsqu'on ne peut pas s'aider des caractères de superposition, il faut alors étudier avec le plus grand soin, les caractères des roches, ceux des minéraux qu'elles renferment, et des fossiles qui s'y trouvent ordinairement disséminés avec plus ou moins d'abondance.

Ces difficultés ne se présenteraient pas si la série des terrains ou des formations était toujours complète; si au-dessus des terrains originaires on rencontrait toujours toute la série des dépôts sédimenteux; mais il n'en est pas ainsi: on ne connaît même aucune localité où toutes les formations de sédiment soient réunies. Tantôt ce sont les plus anciennes qui manquent, d'autres fois celles-ci seules existent, et il y a absence totale des plus récentes; enfin, sur certains points, le sol originaire est à nu ou tout au plus recouvert par des roches d'épanchement.

L'étendue des dépôts qui se sont formés à des époques différentes va en diminuant à mesure que l'on approche des temps modernes. On conçoit en effet que les bassins dans lesquels ils se sont opérés, ont dû devenir de plus en plus nombreux, à mesure que des montagnes, en se soulevant, ont multiplié les arêtes qui les séparent. La surface de la terre s'étant ridée successivement, il en est résulté que les grandes dépressions ont souvent été partagées par des chaînes de montagnes qui, plus tard, ont été croisées par d'autres soulèvements, en sorte que les roches déposées dans un de ces grands bassins primitifs ont été émergées, tandis que d'autres se sont déposées dans des cavités plus petites, puisqu'elles n'étaient plus que des

divisions de celles qui étaient antérieures à ces derniers soulèvements.

A mesure que les dépôts se localisaient, si l'on peut s'exprimer ainsi, leur niveau s'élevait aussi, parce que les sédiments les plus anciens ont d'abord comblé les parties les plus basses, et les plus récents ont souvent recouvert les autres. Ainsi, en faisant la part des soulèvements qui ont nécessairement dérangé le niveau de toutes ces couches, on voit que les sédiments se sont d'abord déposés dans de vastes mers dont les limites se sont successivement resserrées, au point que les dépôts supérieurs aux premiers sont aussi bien plus modernes. Il résulte de cette disposition étagée des grandes formations, que la position relative des mers et des continents actuels ne s'est établie que successivement. Aussi les premières terres émergées après la consolidation du terrain primaire, étaient des îles très-basses, et qui étaient bien loin d'atteindre l'étendue des continents actuels. Des mers immenses les entouraient, et les dépôts commencèrent immédiatement dans leurs eaux. Les sédiments et les soulèvements tendaient à reculer ces eaux primitives dans des bassins plus profonds et moins étendus, où les dépôts se continuaient encore; enfin, des mers locales ou d'immenses bassins d'eau douce se sont aussi comblés de sédiments ou de calcaires formés par d'abondantes sources minérales, et ces dépôts se forment probablement encore de nos jours.

Au-dessus de ces différents sédiments on trouve d'autres terrains composés de débris de tous les sols préexistants, et qui, au lieu d'être produits par de paisibles précipités dans des bassins, semblent plutôt formés par des eaux courantes qui les ont abandonnés pendant leur trajet. Ils paraissent plus modernes que tous les autres, et sont placés par-dessus, quoique cependant ils puissent encore reposer sur les terrains originaires, quand tous les terrains intermédiaires de la série viennent à manquer.

D'après ces caractères, nous diviserons l'ensemble des terrains auxquels on peut donner le nom de *neptuniens*, c'est-à-dire tous ceux qui sont formés au-dessus des terrains originaires, en deux grandes séries :

1° LES TERRAINS DE SÉDIMENT OU DE DÉPÔT;

2° LES TERRAINS DE TRANSPORT OU D'ALLUVION.

Nous partagerons, avec M. Brongniart, les premiers en terrains de sédiment *inférieurs*, *moyens* et *supérieurs*, divisions plus naturelles et surtout plus intelligibles que toutes celles que l'on a proposées depuis cette époque. Nous séparerons les terrains de transport en *anciens* et *modernes*.

Nous aurons donc à étudier ces cinq grands dépôts :

De sédiment	{ inférieurs,
	{ moyens,
	{ supérieurs.
De transport	{ anciens,
	{ modernes.

Plusieurs de ces divisions sont aussi susceptibles de nouvelles coupes.

On voit que nous donnons au mot *terrain* une acception très-étendue, comme l'usage l'a consacrée; car on trouve dans la plupart des ouvrages de géologie les noms de terrains primitifs, de transition, secondaires et tertiaires, appliqués, comme nous venons de le faire, aux grandes divisions de la croûte de la terre. On nomme terrains *primaires* ou *primitifs* ceux auxquels nous avons conservé cette même dénomination, ou du moins un nom analogue; seulement, on y admet pour l'ordinaire plusieurs roches que nous considérons comme formées par épanchement, en sorte que cette série se trouve plus restreinte.

Sous le titre de *terrain de transition*, on a décrit une grande partie des terrains de sédiment inférieurs et quelques-unes des roches que nous regardons encore comme épanchées. Cette dénomination indiquerait un passage d'une série à une autre, passage qui existe en effet, mais que l'on retrouve entre tous les terrains. Ils passent presque tous les uns aux autres, et il n'y a aucune raison pour donner ce titre à ceux-ci plutôt qu'aux derniers.

Les *terrains secondaires* correspondent presque entièrement aux terrains de sédiment moyens, et ceux que l'on désigne sous le nom de *tertiaires*, aux terrains de sédiment supérieurs. Ceux qui ont adopté cette méthode

numérique de désigner les grandes divisions du sol, ajoutent encore les *dépôts quaternaires*, qui comprennent une partie des alluvions. Quant à nous, nous avons cru la géologie assez avancée pour donner aux terrains des noms qui rappellent leur origine, qui se comprennent très-facilement, sans qu'on ait besoin d'étudier leur étymologie, et qui par conséquent n'effraient ni les commençants ni les gens du monde.

Le mot *terrain*, appliqué ainsi très en grand, s'emploie aussi dans la pratique comme synonyme de *formation* et de *dépôt*. On devrait cependant ne pas confondre ainsi des choses très-différentes. Les terrains de sédiment sont composés d'un grand nombre de *formations distinctes*, c'est-à-dire de sédiments qui peuvent être différents par leur nature, mais qui se sont formés pendant la même période géologique, pendant que les mêmes forces agissaient et que les mêmes êtres vivants existaient.

Lorsque ces causes ont changé, une *nouvelle formation* a eu lieu, *indépendante de la première*, et elle s'est continuée pendant une nouvelle période géologique, dont la durée ne peut être limitée. De nouveaux accidents sont venus interrompre cette création, et une troisième formation a succédé aux deux précédentes.

Nous ne savons à quoi attribuer les causes qui ont ainsi rompu l'uniformité des terrains de sédiment; elles ont été brusques, selon toute apparence, car, sans cela, une seule formation se serait déposée au-dessus des terrains primaires, elle se serait continuée jusqu'à l'époque actuelle, et les dépôts qui se forment sous nos yeux, ne seraient que la continuation de ceux qui se seraient opérés aux époques antérieures. Bien loin de là, on remarque de si grandes différences dans les formations, on trouve des caractères si opposés dans divers sédiments, on les voit parsemés de débris organiques si distincts et appartenant d'une manière si positive à telle ou telle époque, que toute idée de continuité et d'uniformité de création dans toute la masse des terrains de sédiment devient inadmissible. Il faut adopter l'*indépendance de formation*, et voir comment elle se détermine.

Tout ce que nous avons dit des forces agissantes doit nous éloigner de cette idée de *formation indépendante*, dénomination qui semble indiquer une séparation nette et tranchée, en ayant une origine tout à fait distincte. Nous allons voir jusqu'à quel point cette idée peut être vraie.

Les terrains de sédiment, déposés dans des bassins plus ou moins étendus, et *successivement*, doivent offrir deux caractères très-positifs, c'est leur *division en couches* ou *lits* d'épaisseur et d'étendue variable, et la *situation horizontale* ou *presque horizontale* de ces diverses assises. La *stratification* est donc le caractère le plus sûr pour distinguer deux formations.

Quand des couches sont parallèles, la stratification est appelée *concordante*; mais si des couches horizontales sont appliquées sur des couches inclinées ou contournées, la *discordance* dans leur position (fig. LV et LVI) indiquera une formation indépendante, parce qu'il y aura eu certainement interruption dans les phénomènes géologiques, ou du moins changement dans la période quand les couches horizontales auront été redressées par une force quelconque.

La position des formations indique aussi leur indépendance. Si, par exemple, un dépôt de couches calcaires et d'argile repose dans un lieu sur le terrain originaire, dans un autre sur un terrain de sédiment inférieur, ailleurs sur un terrain de sédiment moyen, cette faulx de reposer indistinctement sur tous ces membres de la grande série des terrains indiquera que ce n'est pas un dépôt dépendant de ces mêmes terrains, puisque les différences de situation et la nature du sol qui le supporte, n'ont pu altérer sa composition; ce sera donc une formation indépendante, produite par des causes différentes de celles qui ont donné naissance aux roches inférieures qui la supportent, mais par des causes semblables pour les différents dépôts appartenant à cette même formation.

Dans ce cas, il pourra y avoir passage d'une formation à l'autre par les roches qui se touchent et que l'on verra prévaloir par petites couches subordonnées, jusqu'à ce qu'enfin elles forment la masse principale du dépôt.

Il est encore un autre caractère de super-

position, qui indique l'indépendance, c'est lorsqu'il manque un ou plusieurs termes d'une série au-dessous ou au-dessus du dépôt que l'on étudie. Ainsi, un terrain de sédiment moyen, qui reposera immédiatement sur le terrain primaire sans intermédiaire, ou qui sera recouvert par un terrain d'alluvion, sans intercalation de sédiments supérieurs, sera évidemment aussi un dépôt indépendant, quoique très-probablement il n'y ait pas transition brusque d'une roche à une autre, mais passage plus ou moins nuancé.

Quelques autres moyens sont encore à la disposition des géologues pour reconnaître que des dépôts se sont formés pendant la même période géologique ou à des époques séparées par de grands accidents de dislocation. Ces moyens sont l'examen de la composition et la comparaison des fossiles.

Les caractères de composition se tirent de la nature des roches, de leurs caractères minéralogiques, des couches subordonnées, des minéraux accessoires ou accidentels. En comparant ces caractères à ceux d'une formation bien déterminée, on reconnaît l'analogie ou l'identité, et l'on possède de fortes notions pour décider la question.

La comparaison des fossiles peut aussi beaucoup aider dans cette détermination, car la plupart des dépôts possèdent un certain nombre de ces débris organiques, qui les caractérisent plus ou moins, et quoiqu'il y ait rarement la présence d'une ou deux espèces suffisantes pour bien déterminer les relations de gisement avec d'autres dépôts, on arrive presque toujours à une détermination certaine, en comparant l'ensemble des fossiles et en s'assurant de leur identité.

Si les caractères tirés de la composition et ceux de la comparaison des fossiles conduisent aux mêmes résultats, on peut être presque assuré d'avoir atteint la vérité.

* On voit, par ces considérations, ce que l'on peut entendre par *formation*. Ce sont en quelque sorte les *unités* ou les *espèces géologiques* que l'on groupe en différents terrains. Si nous les connaissons toutes, et si nous pouvions les classer exactement d'une manière chronologique, en y intercalant les formations d'épanchement dont l'apparition correspond en partie au dépôt des diverses formations de

sédiment, on aurait recueilli les documents les plus essentiels pour l'histoire physique de la terre. D'un autre côté, les travaux de M. de Buch, ceux de M. de Beaumont, de M. Boné et de plusieurs autres géologues ont presque indiqué les causes de ces périodes géologiques, ou plutôt ils ont signalé les accidents qui les ont séparés, en recherchant l'âge des soulèvements et en précisant l'époque de la naissance des différentes chaînes de montagnes, époques qui correspondent aux points de séparation des périodes de sédiment. Lorsque ces deux genres de travaux, la recherche des formations indépendantes et celle des causes qui les ont rendues telles, auront atteint tout le développement qu'ils peuvent acquérir par les nombreuses recherches des géologues, alors la science de la terre sera arrivée à son apogée et permettra de connaître une partie des grandes lois qui ont présidé à sa création.

Le nom de *dépôt*, employé aussi comme synonyme de terrain et de formation, doit on être tout à fait distingué. Un *dépôt* n'est pas une *formation*, mais un *sédiment local*, qui fait partie de telle ou telle formation. Les dépôts sont aux formations ce que les *individus* sont à l'*espèce*. Ainsi le dépôt de houille de Saint-Étienne, celui de Liège, et tous les autres dépôts de charbon de terre, font partie de la *formation houillère*, qui appartient elle-même à une certaine époque des terrains de sédiment.

Il se présente maintenant une question très-importante, c'est celle de l'âges des dépôts.

Tous ceux qui constituent une même formation sont-ils contemporains et ont-ils été formés à une même époque? ou bien les circonstances nécessaires à leur formation se sont-elles présentées de l'équateur aux pôles ou en sens inverse? Les animaux et les végétaux qui vivaient à l'époque de la création d'un de ces dépôts existaient-ils en même temps sur toute la terre, sous toutes les zones, et leurs débris ont-ils été enfouis à la même époque dans les deux continents et sous toutes les latitudes?

On remarque en général une différence

d'autant plus grande dans les divers dépôts d'une même formation, que cette formation appartient à des terrains plus modernes; aussi les dépôts de houille présentent-ils à peu près les mêmes caractères. Au-dessous des houilles, les grès rouges, les schistes argileux sont peut-être encore moins différents et se rapprochent par leur uniformité des terrains primaires auxquels ils sont superposés. Ces terrains étaient encore soumis à la chaleur centrale qui pouvait les modifier; mais leur création était indépendante de la chaleur solaire ou de la température extérieure. C'est seulement à l'époque des houilles que cette influence extérieure a commencé à se manifester. Au-dessus, pendant le dépôt des terrains de sédiments moyens, et plus tard à l'époque des sédiments supérieurs, les caractères particuliers de chaque dépôt ont successivement offert de plus grandes différences, et l'on peut présumer que leur création n'a pas été simultanée sur toute la terre, et que les divers bassins remplis par ces roches ne l'ont pas été à la même époque. Ce qui tendrait à le prouver, c'est leur distribution géographique. Les couches de sédiment, qui forment les deux étages supérieurs, manquent aux deux extrémités de la terre, et l'étage moyen s'étend encore au-dessous du supérieur et avance un peu plus vers les régions polaires; on voit que les terrains originaux ou les terrains d'épanchement, quelquefois recouverts par les grandes alluvions des terrains de transport, sont les seuls que l'on rencontre en se dirigeant vers les pôles, et souvent bien en deçà des limites des cercles polaires. Les découvertes dans les hautes latitudes de l'hémisphère austral, manquent de ces sédiments, et il en est de même des contrées polaires boréales, qui ont été visitées par les géologues.

Les forces extérieures auraient donc acquis graduellement une certaine puissance, et auraient modifié de grands phénomènes qui, à une époque antérieure, étaient tout à fait indépendants de ces forces qui n'ont pris du développement que par l'affaiblissement des autres.

CHAPITRE TRENTE-QUATRIÈME.

DES TERRAINS DE SÉDIMENT INFÉRIEURS.

La fin de la période primaire, pendant laquelle les premières roches ont été créées, se lie avec le commencement des dépôts de sédiment. Il semble même que ces roches pouvaient, dans certaines circonstances, cristalliser encore, puisqu'on les voit alterner avec les premières couches sédimentaires. Le passage est tout à fait insensible; les eaux, très-étendues à cette époque, amenaient dans les dépressions tous les fragments qu'elles arrachaient au sol préexistant, et y déposaient ainsi des roches formées chimiquement par leur grande puissance dissolvante. Les matières qui composent ces terrains sont donc des roches de sédiment et des roches semblables à celles de l'époque primaire, qui alternent quelquefois avec celles de cette période.

La stratification n'est pas régulière; quoiqu'elle paraisse quelquefois concordante avec celle des terrains originaux, elle est presque toujours bouleversée et contournée; ce qui est très-facile à concevoir, puisque ces couches, formant la base de tous les terrains sédimentaires, ont nécessairement participé à toutes les dislocations qui ont atteint celles qui leur sont supérieures.

De nombreuses substances métalliques sont disséminées dans ces groupes de terrains; elles y sont généralement en filons, comme dans les terrains primaires.

Les matières charbonneuses y sont très-rarement dans leur partie inférieure, tandis qu'elles se sont développées d'une manière extraordinaire à la fin de cette période qui correspond à la formation des houilles.

Enfin, les corps organisés commencent à se montrer dès la partie inférieure de ces terrains, mais avec des caractères tout à fait différents de ceux que nous présentent les

espèces actuellement vivantes, et à la fin de cette période les végétaux se développent en abondance et laissent d'innombrables débris dans les lieux de leur enfouissement.

Tous ces terrains paraissent avoir été formés sous l'influence de la chaleur centrale, sous une forte pression, dans une atmosphère extrêmement humide et par l'action d'eaux chaudes et chargées de substances terreuses, mécaniquement suspendues.

Nous partagerons les terrains de sédiment inférieurs en trois groupes ou étages qui constituent nécessairement un plus grand nombre de formations indépendantes, mais qu'il semble plus convenable d'étudier groupées qu'isolément.

GROUPE INFÉRIEUR OU SCHISTEUX.

À la fin de la période primaire, les roches qui se déposaient étaient de véritables sédiments qu'une forte chaleur et une grande pression rendaient très-compactes et quelquefois même cristallins. Cependant les violentes agitations de la croûte du globe avaient cessé, et quelques animaux vivant dans les eaux, quelques plantes se développant sur leurs bords, commençaient à offrir leurs formes bizarres et leurs singuliers contrastes. Les grands dépôts de gneiss et de micaschistes n'avaient plus lieu; mais de temps en temps les circonstances favorables à leur création se présentaient encore et quelques couches subordonnées apparaissaient çà et là au milieu des dépôts d'un âge plus moderne. Les roches qui se formaient contenaient une certaine quantité de talc et de mica; c'étaient des *stéaschistes*, ou des *amphibolites schisteuses*, ou enfin des *schistes argileux*, à pâte plus ou moins fine. À la partie supérieure se mou-

trent quelques marbres cipolin ou saccharoïde, qui semblent former la partie supérieure de ce dépôt, comme la première apparition de ce calcaire indique la dernière limite des terrains originaires.

Toutes ces roches ont une puissance variable; mais ce sont surtout les schistes argileux ou phyllades qui ont acquis le plus grand développement et qui forment la base de ce groupe. On les voit passer, par nuances insensibles, aux micaschistes qui leur sont inférieurs, et quelquefois, à des bauteurs divers, dans ce groupe, on voit les schistes redevenir micaés et former des lits subordonnés dans les phyllades; d'autres fois ce sont les roches talqueuses qui remplacent les micaées.

En général, toutes ces roches sont remarquables par leur structure schisteuse, qui paraît du reste inhérente à toutes les couches qui contiennent du talc ou du mica. C'est dans ce groupe que l'on rencontre les schistes ardoisiers qui se divisent avec tant de facilité.

Des masses de quartz ou de petites couches de même minéral sont souvent subordonnées aux schistes, et l'on y trouve aussi, à la partie supérieure, des lits de psammite ou grauwaake, véritable roche d'agrégation, et qui paraît la première dans la série des sédiments.

Toutes ces couches ont été fréquemment dérangées par l'injection de diverses roches d'épanchement qui les ont en partie fondues et modifiées dans quelques endroits, au point qu'elles ont pris un aspect étranger et qu'elles semblent se lier par quelques passages aux roches d'injection qui les ont pénétrées. Leur stratification a presque toujours été dérangée par de nombreux soulèvements; car c'est à l'époque de leur dépôt qu'il faut rapporter les premières rides qui ont sillonné les continents ou qui ont contribué à leur élévation.

Les premiers débris organiques que l'on ait rencontrés, étaient contenus dans les schistes argileux et les psammites; ce sont, parmi les mollusques, des *orthocératites*, des *spirifer*; parmi les crustacées, quelques *calymènes*, *ogygia* et *paradoxides*. Il paraît que la végétation commença en même temps que le développement des animaux, car déjà on voit

dans ces terrains, quelques débris appartenant au règne végétal. Ce sont le *sphenopteris dissecta*, le *cyclopteris flabellata* et le *pecopteris aspera*.

Les matières charbonneuses sont encore très-rares dans ce groupe; on y trouve à peine un peu d'anthracite et quelques schistes carbonnés passant au graphite.

Les métaux y sont encore assez abondants; on y trouve du cuivre, du plomb, de l'or, de l'argent, différents minerais de fer. Les feutes du terrain primaire s'y sont prolongées, et des filons ou des amas se sont formés au milieu des roches talqueuses et micaées.

Il est rare que le groupe schisteux manque entièrement dans une contrée, mais souvent il n'y est représenté que par des couches peu puissantes de stéaschistes, d'amphibolites schisteuses, ou même de micaschistes, tandis que dans d'autres contrées il acquiert une très-grande épaisseur, comme on peut s'en convaincre dans les Ardennes, au Hartz, dans l'Eifel et dans une grande partie de l'Allemagne. L'Angleterre offre aussi de nombreux exemples de ce groupe qui renferme plusieurs formations indépendantes, mais dont la stratification est généralement concordante. MM. Sedgwick et Murchison, qui les ont beaucoup étudiées, les ont désignées sous les noms de systèmes *cambrien* et *silurien*. Une partie des roches de ce dernier système appartient au groupe suivant.

GROUPE NOTEN, ARÉNACÉ ET CALCAIRE.

Les formations précédentes se sont déposées immédiatement sur le terrain primaire, dont elles pouvaient être considérées comme la suite, ou comme la transition des roches de cette époque à celles que nous allons étudier. A peine si quelques conglomérats ou quelques couches arénacées avaient paru; les calcaires ne s'étaient encore présentés qu'en petite quantité, relativement aux autres matières; enfin, la vie organique s'était montrée, mais sans développement, sans étendue. Il semble qu'elle luttait encore contre les désordres de la surface, et qu'elle ne parvenait à les vaincre que sur des points très-circoscrits.

Les dépôts sédimenteux vont prendre ici une grande extension; les calcaires vont pa-

raître en puissantes assises; les mers attéduées vont nourrir de nombreux animaux; et de grands végétaux, au feuillage étranger, vont orner les rivages et ombrager les nouveaux continents.

Ce groupe, qui atteint une très-grande épaisseur, est principalement composé de deux sortes de roches. Les grès ou psammites, plus généralement connus sous le nom de grauwaacke, et les calcaires noirs et bitumineux qui paraissent terminer la série.

Ici, comme dans tous les grands dépôts complets, on voit d'abord les grès ou les matières arénacées former les parties inférieures, et les calcaires se déposer au-dessus. Les premiers sont un dépôt mécanique, les seconds un sédiment auquel une action chimique a certainement concouru.

Les dépôts arénacés ou la grauwaacke sont principalement composés de grains de quartz et parfois de feldspath, de paillettes de mica et d'un ciment argileux et quelquefois ferrifère, qui lie la pâte. Les grains sont plus ou moins volumineux, le mica plus ou moins abondant, et les assises, tantôt compactes et quelquefois feuilletées, varient aussi beaucoup en étendue et en épaisseur.

La couleur de cette grande formation arénacée est le gris ou le brun, mais on voit aussi la roche prendre une teinte rougeâtre, quelquefois très-intense, qui lui a fait donner le nom particulier de *grès rouge* ou *vieux grès rouge*, pour le distinguer d'un dépôt analogue, qui s'est reproduit à une époque plus moderne. Quelques savants, et notamment les géologues anglais, ont considéré ce vieux grès rouge comme un dépôt distinct de la grauwaacke, séparation que les apparences confirment dans certaines localités, mais que l'on ne peut admettre dans le plus grand nombre. Ce sont donc les parties supérieures de la grauwaacke qui ont été colorées par l'oxide de fer, et qui inférieurement se lient à la roche ordinaire, dans la plupart des localités, tandis que dans d'autres, des différences de stratification indiqueraient une formation indépendante de la grauwaacke. Il y a aussi quelque différence de composition entre ces deux grès. L'étage supérieur ou grès rouge, est ordinairement plus quartzeux, et contient quelquefois des bancs de poudingue ou de con-

glomérats de nature variée. Quelques couches de calcaire sont subordonnées à ces grès, puis cette première roche se développe et forme des assises qui atteignent jusqu'à 250 mètres d'épaisseur.

Ce calcaire est gris-bienâtre ou noirâtre, offrant souvent des lamelles cristallines de carbonate de chaux blanc. Il a une odeur de bitume très-prononcée, et renferme assez souvent, surtout en Angleterre, des veines ou des amas de plomb sulfuré, du zinc et du fer oligiste. Sa partie supérieure offre quelquefois de nouvelles assises de grès, et l'anhracite, que l'on commence à rencontrer dans la grauwaacke, se développe dans la partie supérieure du calcaire, en offrant déjà les phénomènes de la formation des houilles, à laquelle elle semble préluder. Ce groupe renferme les débris d'un grand nombre d'êtres organisés; mais ils sont bien plus abondants dans les calcaires que dans les roches arénacées.

On peut citer parmi les zoophytes, des *cyatophillum*, des *calamopora*, des *astrea*, des *scyphia*, l'*amplexus coralloïdes*, etc.; parmi les radiaires, les genres *pentacrinites*, *actinocrinites*, *rhodocrinites*, *sphæronites*, mais ce sont surtout les diverses espèces d'*encrinures* qui caractérisent ce terrain; dans les annélides, divers *serpula*; dans les conchifères, des *spirifer*, de nombreuses et singulières *térébratules*, des *producta*, des *cardium*, de nombreux mollusques, dans lesquels on voit figurer des *melania*, des *trochus*, *turbo*, *exomphalus*, *bellerophon*, *buccinum*, *patella*, beaucoup d'*ortocératites*, des *nautilites* et même quelques *ammonites* qui commencent à paraître à cette époque. Les crustacés sont aussi abondamment répandus; les *calymènes*, qui avaient déjà paru dans le groupe précédent avec des *ogygia*, se retrouvent ici avec des *asaphus*, *amysx*, *olenus*, *isotelus*, *paradoxides*, etc. On y a rencontré aussi quelques dents ou défenses de poissons.

Les plantes offrent aussi de nombreuses espèces. Quelques *algues* on *fucus* ont laissé leur empreinte. Les *calamites radiatus* et *voltzii* y représentent les *équisétacées*; des *lepidodendron* marquent la place des *lycopodium*, et les *fougères* offrent les genres des *sigillaria*, *pécopère*, *cycloptère* sphénopère,

dont quelques-uns avaient déjà essayé de paraître dans la période précédente.

La présence de ces débris indique des formations marines, dans lesquelles des restes de corps organisés terrestres ont été entraînés. Il est bien évident que les roches arénacées et calcaires se sont formées au milieu des eaux. Nous ignorons si les mers au fond desquelles ces matières se sont déposées, étaient profondes et agitées, ou calmes et superficielles. Nous ne savons pas si déjà elles étaient traversées par des courants et si les graviers qui ont été agglutinés pour former les grauweekes ont été amenés de très-loin ou arrachés sur les lieux mêmes. Il semble cependant que le dépôt s'est opéré tranquillement, et que la réunion de ces innombrables fragments est due à des pluies abondantes, qui dégradaient les roches primaires qui n'étaient pas recouvertes et qui charriaient les débris dans de vastes bassins, où ils étaient nivelés par les oscillations des vagues. Quelques couches de fragments plus gros, intercalés au milieu des autres, feraient soupçonner l'action d'eaux courantes, animées d'une certaine vitesse, tandis que dans d'autres lieux, d'abondantes lamelles de mica, posées à plat sur une surface horizontale, sont des indices presque certains d'un dépôt lentement formé au milieu d'une eau paisible.

Nous ne connaissons pas non plus l'origine de ces grandes couches de calcaire qui, pour la première fois, se montrent avec une telle abondance; car, jusque-là, cette matière était réduite à des amas très-circons crits ou à quelques couches subordonnées. Elle apparaît tout à coup avec une puissance de 250 mètres, et elle s'étend sur de très-grands espaces; car une partie du continent en a été couvert, et l'Angleterre nous l'offre aussi sur une grande partie de son territoire. Nous ne pensons pas qu'on puisse le considérer comme formé par les êtres organiques, quoique cependant quelques-uns, du genre des coraux, qui s'occupent maintenant de construire les terrains madréporiques sous la zone torride, existassent déjà lors du dépôt de ces calcaires. La seule opinion qui puisse expliquer les faits d'une manière plausible, est celle qui consiste à regarder les calcaires comme produits par des sources minérales, dont l'émission

était en rapport avec l'intensité des phénomènes géologiques de cette époque. Deux causes doivent faire admettre cette supposition : le développement des êtres organisés et le dépôt des bouilles.

A toutes les époques géologiques, le développement des animaux et des végétaux a coïncidé avec le dépôt des matières calcaires, ou pour parler plus exactement, avec l'émission des eaux qui les ont déposées. La matière calcaire a pu favoriser la formation du test des mollusques, des tiges des coraux; les matières salines ont activé, comme elles le font aujourd'hui, l'accroissement des végétaux; ou peut-être même, de la matière organique, sortant avec l'eau des sources, comme il s'en échappe encore aujourd'hui, a-t-elle favorisé l'assimilation et donné aux forces vitales un nouveau degré d'énergie.

D'un autre côté, nous savons que le carbonate de chaux, qui arrive avec les eaux minérales, sort de terre à l'état de bicarbonate et perd bientôt une grande partie de son acide pour se déposer à l'état de carbonate terreux. Dès lors, une énorme quantité d'acide carbonique s'est répandue dans l'atmosphère. Nous pourrions la calculer, si nous connaissions le poids de la masse calcaire déposée à cette époque. Il est bien probable que des dégagements de gaz analogues à ceux qui ont lieu de nos jours, mais bien plus intenses, ont accompagné aussi l'émission des matières calcaires, et l'atmosphère s'est trouvée saturée, pour ainsi dire, de ce gaz, qui a bientôt déterminé une végétation des plus actives, celle dont les débris ont formé les bouilles, en conduisant de nouveau dans le sein de la terre le carbone qui s'en était échappé. Avant la création de ces calcaires, notre atmosphère ne contenait peut-être aucune partie d'acide carbonique; car s'il eût existé, la potasse et la soude qui ont été formées dès le commencement de la création des terrains primaires, l'eussent certainement absorbée, et les carbonates qui manquent dans cette série de terrains ou qui y sont à peine représentés, se seraient montrés dès le principe, si le carbone eût été répandu dans la couche de matière gazeuse qui enveloppait la terre. Dans cette hypothèse, le dépôt des bouilles serait une conséquence nécessaire de

celui des calcaires qui les ont précédées; mais il nous suffit de constater, pour le moment, ce grand changement chimique dans la composition de l'atmosphère; nous verrons ensuite comment on peut expliquer la formation bouillière et l'excessive végétation de ces temps reculés.

Les calcaires de ce groupe sont remarquables par leur couleur qui paraît due à la présence du bitume, ou du moins d'une matière organique, puisque cette roche, souvent exploitée comme marbre et fréquemment employée comme pierre à chaux, se décolore complètement par la chaleur. Faut-il attribuer cette matière organique à l'eau qui, encore aujourd'hui, amène du bitume des profondeurs de la terre, ou faut-il considérer cette odeur fétide comme produite par la décomposition des animaux nombreux qui habitaient alors les eaux tièdes de la mer? M. de Labèche penche pour cette dernière explication. Il suppose que, dans le commencement de la vie organique, les animaux ont dû être excessivement multipliés, et appartenir surtout à la classe des zoophytes, animaux mous et privés de test, puisque le calcaire manquait à cette époque. Ils se sont décomposés sans laisser la moindre trace d'existence. Quel que puisse être le degré de vérité de cette manière de voir, qui paraît bien fondée, il ne reste pas moins comme un fait très-remarquable, le mélange singulier des êtres organisés, qui se développèrent alors et parurent pour la première fois, lors des sédiments de la grauwacke et du calcaire carbonifère. C'est à cette époque seulement que commence bien évidemment la vie organique; car auparavant de simples essais avaient lieu sur la terre et de petites créations prélevaient à cette prise de possession qui eut lieu définitivement à l'apparition des premiers calcaires.

Beaucoup de genres qui existaient alors, ont maintenant disparu, mais plusieurs ont traversé tous les dépôts, toutes les périodes géologiques, et vivent encore aujourd'hui dans les mers. Tels sont principalement les *astrées* et les *caryophyllites* qui, depuis ces premiers calcaires, n'ont pas cessé de construire des îles ou de les entourer de rescifs: telles sont les térébratules qui commencent à cette époque, mais qui n'acquièrent leur période de plus

grand développement que dans un étage plus élevé. Les *producta*, les *spirifer*, les *orthoceras*, quoique ayant continué de se montrer un peu au-dessus des groupes qui nous occupent, ont cependant atteint ici le développement complet de l'espèce, et quelques individus du dernier de ces genres ont acquis plus d'un mètre de longueur.

Tout le groupe des *trilobites* s'est éteint avec cette série de formations; mais les crustacées ont pris sur quelques points un tel développement, que des roches en sont presque entièrement composées. Ils fourmillaient dans les eaux chaudes de certains rivages, mais n'ont pas survécu à la période précédente, pendant laquelle le calcaire s'est formé. Les poissons ont aussi commencé avec ces singuliers animaux et ont laissé leurs premières dépouilles dans la grauwacke.

La présence de l'acide carbonique a aussi donné le signal de la végétation. Les espèces que nous avons vu paraître dans la période précédente se sont conservées et ont acquis un certain développement, d'autres s'y sont associées. Les *équisetacées*, les *fougères* et les *lycopodiacées* ont formé des forêts étendues, et ont immédiatement commencé le dépôt des bouilles. Aussi, c'est dans la partie supérieure du calcaire que se sont formés les premiers dépôts charbonneux, qui renferment peu de bitume, et dont le charbon, désigné sous le nom d'*anthracite*, est exploité sur quelques points de l'Angleterre et de la France.

GROUPES SUPÉRIEURS CARBONIFÈRE.

Déjà la houille commençait à se montrer à la partie supérieure du groupe précédent; mais c'est dans celui-ci seulement que ce dépôt de matières charbonnenses a acquis toute son extension. Les géologues ne sont pas d'accord sur l'étendue qu'il convient d'accorder à ce groupe. Quelques-uns le considèrent comme une dépendance du grès rouge qui se trouve au-dessus et que nous étudierons un peu plus loin; d'autres le réunissent aux calcaires que nous avons décrits dans les pages précédentes. Cette dernière réunion serait plus naturelle que l'autre; mais comme la formation houillère a une grande importance géologique, nous l'étudierons seule comme un de

ces points de repère qui servent d'horizon, et qu'il faut bien connaître avant de s'en éloigner.

La formation houillère est composée de couches de grès, de houille et d'argile schisteuse, ainsi que de fer carbonaté qui se présente le plus souvent sous forme de rognons disséminés ou posés à plat les uns à côté des autres.

La houille ou charbon de terre, qui est la roche principale, sans être la plus puissante, offre un grand nombre de variétés de texture et de composition. Elle est plus ou moins compacte, plus ou moins bitumineuse, et présente au microscope un grand nombre de petites cellules fermées, qui contiennent une matière résineuse très-volatile. M. Hutton a remarqué que, dans la houille collante, les cavités à l'huile résineuse sont allongées et petites; dans la houille schisteuse il y a deux espèces de cellulosités, savoir : des cavités allongées et d'autres circulaires, tandis que dans le cannel-coal où il y a peu d'indices de cristallisation, les premières cavités n'existent que rarement, et il y a une division fibreuse. M. Hutton trouve dans ces données les indications des réticulations et des cellulosités du tissu végétal, et il est ainsi amené à supposer que les diverses houilles ont été produites par des végétaux différents.

Le grès houiller est souvent formé par des fragments de quartz, quelquefois de feldspath et de mica, dont le volume varie beaucoup. C'est surtout dans la partie inférieure du terrain que l'on rencontre ce grès, et l'on y voit quelquefois des veines remplies par de l'argile blanche.

L'argile schisteuse semble formée des mêmes éléments que le grès, mais réduite en particules très-fines. Elle est noirâtre ou brunâtre, et se divise très-facilement, même par le seul contact de l'air; elle est quelquefois imprégnée de bitume et passe à la houille, ou bien le mica y domine et elle passe au grès; c'est dans ces argiles schisteuses que se trouvent de nombreuses empreintes de végétaux.

La houille est généralement placée entre deux couches de cette argile, et ses assises sont quelquefois si nombreuses qu'elles se reproduisent jusqu'à soixante fois, mais tou-

jours séparées par l'argile schisteuse et le grès houiller. Leur épaisseur varie beaucoup aussi, depuis 8 à 13 pouces jusqu'à 20 pieds et au delà.

L'argile bitumineuse, qui enveloppe la houille, contient le fer carbonaté lithoïde, qui forme une série continue d'amas de rognons, de veines, que le grès houiller renferme même quelquefois. Ce fer carbonaté passe facilement à l'état d'hydrate et existe souvent en quantité exploitable.

On rencontre aussi dans le terrain houiller, des roches qui ont été injectées pendant sa formation, et qui ont contribué à disloquer ses couches. Ce sont principalement des porphyres ou des roches trappéennes, quelquefois même des basaltes. Enfin, le calcaire reparait aussi par petites couches à la partie supérieure, mais il se développe peu.

La stratification de ce groupe est très-prononcée. On y reconnaît nettement la stratification périodique, c'est-à-dire que l'on observe toujours le même ordre dans la disposition des couches. Les assises de houille sont toujours parallèles aux couches pierreuses qui les accompagnent et ne les coupent jamais. Elles sont tantôt presque horizontales, tantôt fortement inclinées à l'horizon, mais le plus souvent elles sont disposées en fond de bateau, c'est-à-dire qu'elles se relèvent également de chaque côté. D'autres fois, comme on peut l'observer dans les houillères de Mous et de Valenciennes, les couches se replient sur elles-mêmes en zig-zag, et forment en descendant une suite de crochets qui conservent une sorte de régularité. Les deux lisières schisteuses suivent les mêmes inflexions, en sorte que les trois conches ne cessent pas d'être parallèles entre elles.

Les fossiles du terrain houiller sont très-variés et appartiennent principalement aux végétaux. Ce sont des empreintes bien conservées de leurs feuilles et de leurs tiges, quelquefois ce sont les tiges elles-mêmes que l'on retrouve dans le grès ou dans les schistes, et que l'on peut suivre sur une grande longueur.

Voici le tableau générique et numérique des végétaux recueillis dans les houillères, et qui ont été soigneusement décrits par M. Adolphe Brongniart :

CRYPTOGAMES VASCULAIRES.	ÉQUISÉTACÉES.	<i>Equisetum</i>	2 espèces.	14
		<i>Calamites</i>	12	
	FOUGÈRES.	<i>Sphenopteris</i>	21	150
		<i>Cyclopteris</i>	2	
		<i>Neuropteris</i>	11	
		<i>Glossopteris</i>	1	
		<i>Pecopteris</i>	46	
		<i>Lonchopteris</i>	2	
		<i>Odonopteris</i>	3	
	MARSIACÉES.	<i>Schisopteris</i>	1	7
		<i>Sigillaria</i>	41	
		<i>Sphenophyllum</i>	7	
	LYCOPODIACÉES.	<i>Lycopodites</i>	10	68
		<i>Selaginites</i>	2	
		<i>Lepidodendron</i>	54	
		<i>Lepidophyllum</i>	8	
		<i>Lepidostrobus</i>	4	
		<i>Cardiocarpon</i>	8	
PHANÉROGAMES MONOCOTYLÉDONES.	PALMIERS.	<i>Stigmaria</i>	8	
		<i>Flabellaria</i>	1	
		<i>Neggerathia</i>	1	
	CANNÉES.	<i>Zeugophyllites</i>	1	5
		<i>Cannophyllites</i>	1	
		<i>Sternbergia</i>	3	
	FAMILLES INCERTAINES.	<i>Poacites</i>	3	14
		<i>Trigonocarpum</i>	8	
		<i>Muscocarpum</i>	3	
		<i>Phyllothea</i>	1	
		<i>Annularia</i>	7	
Plantes dont la classe est incertaine, mais qui paraissent se rapprocher davantage des deux classes ci-dessus que des autres.	<i>Asterrophyllites</i>	10	21	
	<i>Volkmanina</i>	3		
Total.				238

On a trouvé aussi dans les houillères plusieurs débris d'animaux appartenant à des espèces marines et à des espèces d'eau douce. Tels sont les genres *unio*, *mytilus*, *ammonites*, *orthocera*, *terebratula*, *pecten*, *lingula* et quelques restes de poissons.

Ce n'est cependant qu'en petit nombre et très-rarement que l'on rencontre des fossiles étrangers au règne végétal ; ce sont les végétaux qui caractérisent la formation des houilles, et l'on peut même affirmer que la houille elle-même est le produit de leur décomposition et de leur enfouissement.

La vie végétale a pris, à l'époque dont nous nous occupons, un développement vraiment extraordinaire, et qui ne s'est pas représenté depuis lors. En effet, toutes les circonstances étaient alors réunies pour activer la végétation.

L'acide carbonique, si nécessaire à la nutrition des plantes, venait de se répandre

en abondance dans l'atmosphère, et comme l'a indiqué M. Ad. Brongniart, dans un travail très-remarquable sur ce sujet, il dut être absorbé par les feuilles nombreuses des grandes monocotylédones qui vivaient alors sur la terre. La vapeur, si nécessaire aussi à un prompt développement, se formait sans cesse à la surface des eaux tiédies par la haute température que produisaient nécessairement les injections de porphyre et des différentes roches d'épanchement, qui perçaient alors la croûte déjà épaissie de notre planète. Nous ne pouvons nous faire une idée de l'activité que devaient imprimer à la végétation toutes ces circonstances réunies, jointes encore à l'humidité qui devait régner sur le sol où ces plantes implantaient leurs racines. Ce qui le prouve, c'est la grande élévation qu'atteignaient ces *lycopodiées*, ces gigantesques *equisétacées*, et tous ces grands monocotylédones qui formaient alors d'impénétrables forêts.

En comparant cette végétation à celle qui existe maintenant sur le globe, nous ne trouvons plus d'analogie que dans les contrées les plus chaudes ; car nos petites prêles, nos fougères berbacées et nos lycopodiacées rampantes ne peuvent pas être placées sur la même ligne que leurs analogues de l'époque houillère. Ce n'est donc que dans les îles situées sous les tropiques, que nous retrouvons quelques plantes que leur organisation spéciale et leur haute stature rapprochent singulièrement de celles qui paraissent avoir couvert à cette époque la majeure partie des terres émergées. Mais ce ne serait pas un motif de croire que ces forêts primitives couvraient des îles ou se développaient sur des archipels, nous devons présumer au contraire qu'elles croissaient déjà sur des continents étendus ; car il a fallu une masse prodigieuse de végétaux pour former les couches puissantes de bouille que nous trouvons enfouies sur une grande partie de la terre.

Nous ignorons de quelle manière le dépôt s'est opéré, et quelles sont les circonstances qui l'ont accompagné. L'expalation des feuilles, et l'extrême régularité des empreintes que l'on trouve dans les schistes, nous prouvent de la manière la plus évidente que les végétaux ont flotté, et que leurs feuilles, d'abord étalées à la surface, se sont déposées avec les argiles boueuses que la compression a transformées en schistes bitumineux. La disposition presque toujours curviligne des couches, annonce que les matières sédimenteuses étaient épaisses, et que les eaux étaient tranquilles ; car, sans ces circonstances, les couches eussent été formées horizontalement et n'auraient pas indiqué, comme elles le font, par des ondulations variées, la forme extérieure du terrain sur lequel elles se sont déposées. Il faut donc admettre que le dépôt des grès, des schistes et de la houille a eu lieu simultanément dans des golfes, de grands lacs, ou dans une série de bassins contigus et souvent alignés. Les matériaux n'ont pu être charriés de loin, car les décomures si délicates des feuilles de fougère eussent certainement été détruites, malgré la facilité avec laquelle elles peuvent flotter sur un cours d'eau peu rapide. On ne peut non plus supposer que de grands amas de végétaux aient été enfouies sur la

place où ils ont vécu ; car, dans ce cas, on trouverait ces végétaux entiers et ensablés verticalement comme ceux des forêts sous-marines. Il existe, il est vrai, plusieurs faisceaux de tiges trouvées dans cette position et munies de leur racine. M. Al. Brongniart énumère un grand nombre d'exemples de ces troncs enfouis verticalement¹ ; mais il n'en est pas moins vrai que ces positions sont exceptionnelles. Aucun de ces troncs n'était muni de ses branches ou de son faisceau terminal, tous étaient coupés à une certaine distance au-dessus de la racine. Tous les jours on rencontre des arbres placés dans une semblable situation à l'embouchure des grands fleuves d'Amérique ; ils y restent des années entières et finissent par s'ensabler. Ces arbres cependant sont descendus de très-loin et n'ont pas vécu sur place. La même chose a eu lieu pour les tiges verticales des grès houillers. Quelques plantes arrachées avec la terre qui tenait à leurs racines, auront pris la position verticale et auront flotté sur les cours d'eau jusqu'aux bassins où venaient se réunir les matériaux des houilles.

Quand on considère attentivement cette singulière formation, on est bientôt convaincu que toutes ses parties se sont formées assez tranquillement comme tous les terrains de sédiment, bien différents en cela des terrains de transport, et cependant ce serait à un terrain de transport qu'il faudrait rapporter les houilles, si l'on supposait que les plantes dont elles proviennent ont été ensevelies sur les lieux mêmes où elles ont vécu, tandis qu'elles sont dues à une action de transport, unie à un dépôt de sédiment.

Les végétaux et les matériaux des roches qui ont donné naissance à la formation houillère, ont été transportés par des cours d'eau étendus jusqu'au point où le dépôt s'opérait. Rarement quelques courants plus rapides ont charrié de plus gros fragments, qui se sont déposés en couches caillouteuses et en forme de poudingue.

Les sédiments ont eu lieu comme à l'ordinaire ; les parties pesantes les premières, les argiles ensuite, puis les matières végétales, qui ont ainsi formé les trois couches de grès, de schiste et de charbon.

¹ *Annales des Mines*, 1821, 5^e livraison.

C'est la pesanteur spécifique qui a déterminé cet arrangement et non l'ordre de transport. Après le dépôt de ce système de trois conches constituant une seule et même formation, les eaux, plus tranquilles, n'ont plus amené que des feuilles et quelques tiges qui flottaient sans altération, et arrivaient avec des matières terreuses, qui se déposaient avec elles au-dessus des houilles qui n'étaient pas encore recouvertes. C'est à cette période de tranquillité qu'il faut rapporter la création des schistes à empreintes, qui forment le toit de la houille, et dans lesquels on rencontre aussi les longues tiges articulées de ces grandes cryptogames vasculaires. Les eaux n'avaient pas alors assez de vitesse pour charrier des grès, mais bientôt après les mêmes phénomènes se reproduisaient; les cours d'eau débordés arrachaient des groupes énormes de végétaux, érodaient les terrains originaires et les sédiments qui les recouvraient sur plusieurs points, et charriaient tous ces débris qui se déposaient encore selon l'ordre de leur densité. Une période tranquille permettait à de nouveaux schistes de recouvrir encore ce dépôt et d'y conserver de nouvelles empreintes. Quant à la transformation des matières végétales en houille, on conçoit que les masses, d'abord très-épaisses, se sont successivement affaissées; on comprend que, fortement comprimé, l'hydrogène carboné, qui résulte de la décomposition des matières végétales sous l'eau, n'ait pu se dégager et soit resté comprimé dans un grand nombre de cavités dont il s'échappe en sifflant quand les parois trop minces ne peuvent plus résister à sa pression; on comprend que l'affaissement de ces matières ait pu donner lieu à plusieurs petites dislocations provenant du glissement de quelques conches supérieures quand les inférieures s'abaissaient. Le fer, si abondamment répandu à la partie supérieure de la grauwacke, dans le vieux grès rouge, se retrouve ici en masses plus ou moins volumineuses, qui se groupent et se déposent avec les argiles, au lieu de se disséminer dans toute la masse.

La houille est essentiellement une formation terrestre, dont les matériaux ont été charriés dans l'eau douce ou dans l'eau salée, et dans laquelle s'expliquerait tout naturelle-

ment, par voie de transport, la présence de quelques corps marins et de quelques coquilles d'eau douce.

La périodicité extrêmement remarquable, que l'on observe dans la stratification des houilles et la multiplicité des assises dans quelques bassins, nous indiquent une cause également périodique dans le transport des matériaux qui ont formé ce groupe. Cette cause, nous ne pouvons la trouver que dans la succession de deux saisons opposées, une saison d'hiver et une saison d'été, pendant laquelle des pluies abondantes auraient produit des crues périodiques comme celles qui caractérisent encore aujourd'hui les fleuves de la zone torride. Quelque répugnance qu'aient à adopter cette opinion, les géologues qui accordent à la terre une existence qui date de quelques milliers de siècles, il n'en est pas moins vrai que la plupart des phénomènes de stratification ne peuvent être expliqués qu'on faisant intervenir les saisons d'été et d'hiver, ou, ce qui est plus exact, de *pluie* et de *sécheresse*. Des circonstances locales ont pu modifier ces saisons, et peut-être même prolonger certains dépôts d'une saison à un autre homonyme, sans qu'il y ait eu d'interruption sensible; mais, dans la plupart des cas, une seule année a pu suffire pour transporter les matériaux d'un dépôt complet des trois couches; et des schistes à empreintes, dont la création a eu lieu pendant l'intervalle de tranquillité, séparent le dépôt formé, du suivant qui viendra bientôt le recouvrir.

A une époque où les actions de transport étaient assez actives pour créer des masses de 5 à 600 mètres d'épaisseur, il faut leur supposer un développement si prodigieux, que nos petites forces actuelles ne peuvent leur être comparées que pour le mode d'action, mais non pour le résultat.

La périodicité dans les sédiments, que l'on ne peut guère expliquer d'une autre manière, nous amène à une conclusion à laquelle M. Ad. Brongniart était déjà arrivé par un autre moyen, c'est qu'à l'époque des houilles la température du globe était au moins celle de la zone torride; l'épaisseur des dépôts nous indique, comme lui, ont prouvé la nature des végétaux, que cette chaleur était même beaucoup plus élevée. C'était probablement

le point le plus favorable à la végétation et le degré auquel l'absorption et la décomposition de l'acide carbonique étaient le plus actifs. Il faut encore ajouter à la chaleur solaire l'action de la chaleur centrale, mais trop affaiblie déjà pour masquer les saisons.

Autant qu'on peut en juger par la position géographique des houilles, la terre jouissait alors d'une température uniforme, et des plantes presque semblables existaient à la fois dans toutes les parties du monde. Les empreintes recueillies en Amérique ont offert, à quelques exceptions près, des végétaux semblables à ceux de l'Europe; des échantillons recueillis au Groënland, au delà du cercle polaire, ont offert aussi des espèces identiques; en sorte que, sous toutes les zones de l'hémisphère boréal, les houilles doivent leur origine aux mêmes espèces, ou du moins à des plantes de même genre et d'espèces analogues. On a peu de données sur cette même formation dans l'hémisphère austral; on a cependant recueilli à la Nouvelle-Hollande des exemples qui indiquent des espèces et même des genres différents, mais pourtant analogues.

Il est, du reste, très-possible que des découvertes ultérieures fassent connaître les mêmes végétaux sur des parties du globe si éloignées. Cette identité, ou au moins cette analogie de végétation pourrait faire supposer que l'ancien et le nouveau continent, ainsi que l'Australie, existaient lors du dépôt des houilles, mais rien ne prouve cependant la contemporanéité de la végétation houillère dans des contrées si éloignées.

La formation houillère seule atteint quelquefois 500 mètres de puissance, et des espaces très-étendus en sont couverts. On la trouve dans plusieurs départements de la France; l'Angleterre et la Belgique lui doivent une partie de leur richesse; on la retrouve dans toutes les parties de l'Allemagne, en Sibérie, au Groënland, à la Chine, au Japon, en Amérique et dans l'Océanie.

C'est en Angleterre qu'elle a acquis son plus grand développement; on y compte 3,000 lieues carrées de terrain exploitable pour le combustible qu'il contient, et l'on peut évaluer à 6,400,000,000 de tonnes la quantité de combustible qui s'y trouve en-

fouie. Dans le pays de Galles, où l'on extrait 3,000,000 de tonnes de houille par an, on en pourra retirer la même quantité pendant 1500 ans¹.

L'Angleterre et la Belgique paraissent être les deux côtés d'un même bassin maritime, dans lequel se sont déposés des terrains houillers extrêmement abondants; les couches qui les supportent et quelques assises intercalées contiennent de part et d'autre quelques fossiles marins et présentent en outre les mêmes circonstances géologiques.

Il n'en est pas de même des houilles du centre de la France; elles paraissent avoir été formées dans des bassins lacustres, et beaucoup moins étendus, dans lesquels on ne trouve pas de débris marins, mais où l'on rencontre les mêmes espèces végétales.

On n'est pas bien certain que toutes les houilles se soient déposées dans des bassins; on pense que quelques-unes se sont formées à la manière des deltas, à l'embouchure des grands fleuves, et non comme les deltas des lacs. Quel que soit leur mode de formation, elles ont été depuis lors fortement disloquées par des affaissements ou des glissements qui ont donné naissance à des failles et à des brouillages; par tous les soulèvements postérieurs à leur dépôt et par de nombreuses injections de roches porphyriques. Aussi trouve-t-on des houilles à de grandes hauteurs et dans des lieux très-profonds. Leblond en cite dans les Cordillères du Pérou, près de Santa-Fé-de-Bogota, à la hauteur de 2,200 toises; M. de Humboldt cite les mêmes couches à 1,560 toises; mais on en indique dans les Cordillères de Huarocho à 2,500 toises; ou en exploite dans les mines de Flandre à 500 toises au-dessous du sol, qui, dans ces plaines, n'est pas élevé de 50 toises au-dessus du niveau de la mer, en sorte que l'on trouve entre les deux limites connues de la houille, l'espace énorme de 3,800 toises.

Les couches de houille peuvent s'enflammer spontanément et brûler pendant des années tout entières. Les grès sont souvent vitrifiés par cette chaleur; l'argile schisteuse éprouve une demi-fusion et devient semblable à de la porcelaine de couleur variée, ou bien

¹ ÉLIE DE BEAUMONT, Notes recueillies à son cours. *Écho du Monde Savant*, p. 44, 3^e année.

elle se transforme en scories analogues à celles des volcans. On voit aussi de l'hydrochlorate d'ammoniaque qui se sublime en octaèdres, dans les fentes des roches, du sul-

fate d'ammoniaque, de l'alun et quelquefois des globules d'acier provenant de petits nids d'oxide de fer que contiennent assez souvent les couches d'argile schisteuse.

CHAPITRE TRENTE-CINQUIÈME.

TERRAINS DE SÉDIMENT MOYENS.

Au-dessus de la formation houillère, se développe une longue série de grès et de calcaires renfermant çà et là quelques matières combustibles, et comparables, jusqu'à un certain point, aux dépôts que nous venons d'étudier. Nous allons voir revenir successivement les grès, les calcaires, les argiles et les marnes, qui indiquent la succession de plusieurs périodes géologiques pendant lesquelles les dépôts s'opéraient, pour ainsi dire, de la même manière. Nous venons de voir, dans la série précédente, les grès se développer sur une puissance de 5 à 600 mètres, et les calcaires paraître au-dessus d'eux avec une épaisseur égale à la moitié de celle des grès. Au-dessus se développe la formation houillère, pendant laquelle l'acide carbonique, répandu dans l'atmosphère, est absorbé par la végétation. Maintenant reparaissent de nouvelles couches de conglomérat, auxquelles succèdent aussi des calcaires, mais dont l'épaisseur, en rapport avec les grès qui les supportent, n'est pas aussi considérable que celle des assises qui les ont précédés. Ce n'est que vers la fin de la longue période dont nous allons parler, que l'on voit les calcaires acquies encore une très-grande puissance dans la formation de la craie.

Pendant cette longue succession de dépôts, nous verrons la végétation changer de nature, de nouveaux animaux paraître successivement et laisser leurs dépouilles pour témoins de leur existence.

Nous partagerons cette série en quatre groupes : celui du grès rouge, celui du grès

bigarré, celui du Jura et celui de la craie.

GROUPE DU GRÈS ROUGE.

Au-dessus des houilles, de nouveaux grès se formèrent et se déposèrent sur une épaisseur de 150 mètres. Ils sont composés de grains de quartz, et plus rarement de feldspath. La couleur rouge qu'ils offrent presque toujours est due au fer peroxidé qui enveloppe chaque grain et leur sert de ciment. Il semble qu'une sorte de transport, plutôt qu'une action de sédiment, ait produit cette roche singulière, et qu'une violente agitation ait favorisé la peroxidation du fer que les eaux contenaient alors en abondance. Le volume des galets ou plutôt des cailloux presque anguleux que l'on rencontre dans ce conglomérat, prouve qu'il ne s'est pas formé dans une eau tranquille, mais que des courants puissants ont concouru à sa formation. Les dépressions qui existaient alors sur le sol ont été remplies par ce dépôt. Les bouleversements que l'on remarque dans les gronpes antérieurs, les grandes dislocations qui ont alors agité la surface de la terre, l'apparition fréquente de roches ignées, qui semblent s'associer au grès rouge, ont été sans doute les causes qui ont contribué à la violente agitation des eaux. La végétation paraît anéantie à cette époque; aucun animal n'a laissé ses restes dans cette grande alluvion; on dirait que la vie s'était éteinte ou que l'absence de l'acide carbonique absorbé par les houilles, s'opposant au développement des végétaux, avait, par cela même, arrêté la vie animale.

Mais bientôt parut sur ce grès une nouvelle émission de calcaires, et une formation dont l'épaisseur atteignant quelquefois 150 mètres, se déposa, quand les eaux, moins agitées, cessèrent d'entraîner les fragments qui formaient le grès rouge.

On a donné le nom de *zechstein* à cette roche, qui est souvent d'un gris de fumée et dont la cassure est inégale et esquilleuse. Cette formation offre peu d'uniformité dans son épaisseur. On peut la partager en deux étages.

L'inférieur est composé de schistes marneux et souvent bitumineux, recouverts de calcaire fétide. Dans ces schistes on remarque une couche d'environ un tiers de mètre d'épaisseur, qui contient le bitume et qui, de plus, renferme des minerais de cuivre gris argentifère, de cobalt arsénical et de sulfure de plomb, qui y sont disséminés en grains ou en paillettes.

L'étage supérieur est magnésifère à sa base, c'est-à-dire que l'on y trouve des dolomies qui diffèrent de celles qui sont créées par le contact avec des roches ignées. Elles sont formées en même temps que le calcaire, qui est presque toujours cellulaire, ou même caverneux. A sa partie supérieure se retrouve encore un calcaire magnésien, bitumineux et fétide. Le gypse et le sel gemme existent également dans cette formation.

Quelques débris, parmi lesquels on distingue des coraux, des *enerinites*, des *lérébra-tules*, des ammonites, et surtout le *producta aculeata* qui est caractéristique, indiquent suffisamment un dépôt marin. Des poissons ont été trouvés dans le schiste cuivreux de Mansfeld, notamment des *palaeotrisium*, et là aussi, pour la première fois, apparaissent les restes d'un reptile du genre *monitor*. On cite aussi quelques débris de végétaux, principalement des *fucoides*, qui attestent encore une formation marine; une *confère*, famille qui se montre aussi pour la première fois, et quelques monocotylédons analogues à celles des houillères. Tous ces débris sont rares.

Le grès rouge est commun en Angleterre, et se retrouve au Hartz, en Thuringe, en Saxe, etc., où il est souvent recouvert par le *zechstein*. Ce dernier se présente souvent en Allemagne et dans une partie de l'Angleterre. Il manque en France.

Quelques géologues, et notamment M. de Beaumont, placent au-dessus du *zechstein*, des grès rouges qui sont fréquents dans les Vosges; mais comme le calcaire manque entre ces deux sortes de grès, et qu'il y a passage de l'un à l'autre, comme aucun fossile ne peut non plus indiquer leur véritable place, nous le considérerons comme la partie supérieure du grès rouge, quoique, dans notre manière de voir, on doive séparer en groupes distincts tous les dépôts de grès qui ne se succèdent pas immédiatement, et surtout ceux qui sont accompagnés de leurs calcaires et de leurs marnes.

Le grès bigarré, le calcaire coquillier et les marnes irisées, sont les trois membres de ce groupe. Le dernier est le plus développé, puisqu'il atteint 150 mètres de puissance, tandis que chacun des deux autres n'a jamais plus de 90 mètres. Le second membre, le calcaire coquillier, manque aussi souvent, et la formation est alors réduite aux grès qui passent, par nuances insensibles, aux marnes irisées.

GROUPE DU GRÈS BIGARRÉ.

Le grès bigarré est un grès quartzeux, à grains fins, composé de quartz et de mica, et dont les couleurs très-variables et souvent mélangées offrent différentes teintes de rouge, de bleuâtre, de vert ou de blanc. Sa partie inférieure est plus grossière que ses assises supérieures, qui sont souvent schisteuses et renferment du gypse et de la dolomie. On y trouve quelques substances métalliques, comme le cuivre carbonaté et oxydé, à Chessy et dans les Pyrénées. Ces grès, quelquefois désignés sous le nom d'*arkoses*, se rencontrent sur différents points de la France, autour des Vosges, etc.

Les débris organiques sont peu nombreux dans ce grès; on y trouve cependant des *trigonia*, des *mytilus*, des *natica*, des *cypricardia*, peut-être des *mélanies* et des empreintes de végétaux appartenant aux monocotylédons et aux dycotylédons.

Le calcaire coquillier se partage généralement en trois assises, dont celle du milieu est la principale. Elle présente un calcaire compacte, gris de fumée, contenant des caill-

loux dans sa partie supérieure, sur laquelle se trouvent des marnes schisteuses, gris-verdâtres, avec des masses de calcaire cellulaire. Ces lits schisteux établissent le passage aux marnes irisées. La partie inférieure est une couche mince de calcaire ou de dolomie. Le calcaire coquillier contient aussi du gypse et du sel gemme, et quelquefois du silice.

De nombreux débris organiques y sont dispersés dans la plupart des localités. Quelques-uns sont caractéristiques; ce sont l'*encrinites litiformis*, *terebratula vulgaris*, *mytilus eduliformis*, *cypricardia socialis*, *ammonites nodosus*. C'est dans ce calcaire qu'apparaissent pour la première fois les restes des *plesiosaures* et des *ichtyosaures*, énormes reptiles aux formes singulières, qui, par la suite, deviennent bien plus nombreux.

On trouve ce calcaire dans plusieurs parties de l'Allemagne. Il est désigné sous le nom de *muschelkalk*. Pendant la formation du calcaire, il paraît que des matières argileuses vinrent se mélanger dans les bassins où il se déposait, et il en est résulté les *marnes irisées*, ainsi nommées à cause des bigarrures de rouge, de violet et de verdâtre qu'elles présentent très-souvent. Elles n'offrent cependant ce caractère qu'à leur partie supérieure. Immédiatement au-dessus du calcaire coquillier ou du grès bigarré, quand le second terme de la série vient à manquer, ces marnes ont une structure schisteuse, et elles renferment du sel gemme et du gypse. C'est dans ce terrain que sont situées les salines de l'est de la France. Au-dessus, elles deviennent graduellement fragmentaires, et l'on y trouve, dans quelques localités, des calcaires magnésifères, de petites couches de grès et des bouilles, ou peut-être des lignites, mais qui, dans tous les cas, sont exploitées comme combustibles. Enfin, des masses de strontiane existent dans la partie supérieure des marnes irisées. Les coquilles marines y sont très-rares, ainsi que celles d'eau douce, mais on y a découvert aussi des restes d'anciens sauriens différents de ceux du calcaire coquillier. L'époque de ce dépôt est remarquable en ce qu'elle indique une période géologique pendant laquelle il y a eu une petite répétition de la formation des bouilles. On y retrouve un certain nombre d'empreintes qui se rapprochent beaucoup de

celles du schiste bitumineux, et l'on conçoit, en effet, que la quantité d'acide carbonique répandu dans l'atmosphère, depuis la formation du *zechstein*, devait développer une nouvelle végétation qui a condensé une partie de cet acide. Il faut cependant que ce développement d'acide carbonique ait été lent et modéré ou qu'il se soit divisé sur une longue période, pour que les grands sauriens qui ont commencé à se montrer depuis la formation du *zechstein*, aient pu vivre et se multiplier bien au delà du dépôt que nous venons de décrire, et il faut remarquer aussi que jusqu'ici, aucun mammifère et aucun oiseau ne se sont montrés, probablement à cause de la composition de l'atmosphère, qui ne leur permettait pas de respirer dans un milieu si chargé de carbone.

Le groupe que nous venons de décrire doit aussi donner lieu à une remarque importante; c'est qu'il termine cette série de terrains dans la formation desquels les variations de climats paraissent n'avoir eu aucune influence, puisque la chaleur centrale était encore assez intense pour masquer les distances de latitude, et par conséquent, les différents dépôts d'une même formation doivent offrir partout des caractères presque uniformes. Cet état de choses cesse avec le groupe suivant, mais il ne cesse pas brusquement; on s'aperçoit seulement de quelques différences qui deviennent de plus en plus marquées, à mesure que l'on approche de l'époque actuelle.

● GROUPE DU JURA.

Une longue série de couches superposées compose le groupe du Jura, qui se rencontre non-seulement dans la chaîne de montagnes qui porte ce nom, mais sur une grande portion de l'Angleterre et autour des Alpes, qui s'étendent dans une partie de l'Allemagne.

Les diverses formations qui composent ce groupe paraissent s'être déposées dans le fond de mers locales, plus ou moins étendues, dont elles ont peu à peu comblé les bassins. L'épaisseur du dépôt a dû nécessairement varier de puissance, selon sa position, relativement à la profondeur des eaux, c'est-à-dire que le milieu de ces mers doit offrir de puissantes assises, qui s'amincissent à mesure que l'on ap-

proche de leurs anciens rivages. M. de Beaumont, à qui l'on doit cette observation, donne à l'appui l'exemple de la chaîne des Alpes, dont une portion semble avoir été soulevée au milieu de la partie la plus épaisse du dépôt : ces montagnes s'élèvent au centre d'une immense bontonnière dont les bords sont continus et atteignent, dans certains points, deux mille mètres de puissance, tandis que les collines de Bath et d'Oxford indiquaient les bords du bassin et la partie la moins épaisse de cette formation.

Le groupe jurassique est très-compiqué ; il offre une longue série de conches arénacées, sableuses, calcaires et argileuses ; mais il n'en faut de beaucoup que toutes ces conches se rencontrent distinctement dans chaque dépôt ; les unes ou les autres peuvent manquer ou se présenter avec des modifications variées.

Ici, comme dans les autres groupes, on voit d'abord des grès occuper la partie inférieure, puis les calcaires et les argiles leur succéder. Plusieurs séries de dépôts semblables sont superposées et compliquent la grande formation jurassique. On peut cependant la partager en deux étages distincts : celui du *lias* et celui de l'*oolite*.

Formation du lias.

Trois roches principales composent l'étage inférieur du groupe jurassique : 1° le grès à carreau ou *quadersandstein* ; 2° le calcaire lias ; 3° les marnes supérieures du lias.

Le grès inférieur de cette formation est blanc ou jaunâtre, composé de grains de quartz et de mica ; on y voit des rognons d'argile et quelquefois des silex qui ont évidemment été roulés. Les grains de cette roche paraissent déjà plus fins que ceux des autres grès ; lorsqu'ils manquent, ils sont quelquefois remplacés par une roche nommée *arkose*, qui paraît être un véritable granite recomposé et qui contient en général une assez grande quantité de feldspath. Les fossiles y sont très-rare.

Au-dessus des grès, vient l'assise de calcaire, qui n'offre pas cette cassure nette et cette texture compacte que présentent ceux des formations antérieures. C'est un calcaire

grossier, un peu marneux, renfermant un grand nombre de coquilles, parmi lesquelles les plus caractéristiques sont le *gryphaea incurva*, qui est extrêmement abondant, l'*ammonites bucklandii* et le *plagiostoma gigantea*. On voit ce calcaire alterner avec des couches marneuses et repose, en Angleterre, sur des marnes noires et schisteuses, analogues aux schistes de la formation houillère ; le calcaire lui-même, ordinairement blanc ou bleuâtre, devient parfois noir, compacte, rempli d'entroues, fétide et bitumineux, en un mot, analogue au calcaire noir qui se trouve au-dessus du groupe de la *grauwacke* et qui précède les houilles.

L'assise marneuse de la formation du lias est assez souvent la plus puissante, comme celle des marnes irisées est aussi la plus développée du groupe précédent. Ces marnes du lias sont souvent schisteuses ; elles offrent des teintes grises ou brunes, et contiennent des noyaux de véritable calcaire ; elles sont bitumineuses et fétides dans un grand nombre de localités ; enfin, elles contiennent de la houille, comme à Mende et à Milhan. Ces houilles ne sont cependant pas les mêmes que celles du terrain houiller ; elles en diffèrent par plusieurs caractères, mais leur présence indique que les circonstances favorables au dépôt de ce combustible s'étaient renouvelées, comme cela a eu lieu après chaque dépôt de calcaire.

La formation du lias est répandue dans diverses parties de l'Allemagne et sur les flancs du plateau central de la France, ainsi que dans la Lorraine, le Jura, etc.

Formation oolitique.

On donne le nom d'*oolite* à un calcaire composé d'un nombre immense de petits globules agglutinés, ou du moins tellement rapprochés, qu'ils forment une roche assez dure, et comme ce calcaire se reproduit à plusieurs reprises dans cette formation, l'ensemble a conservé la dénomination de la roche principale.

C'est surtout en Angleterre que cet étage du groupe jurassique a pris un grand développement, et les géologues anglais l'ont étudié avec beaucoup de soin. Ils y distin-

quent un grand nombre de couches qui ne sont probablement que des dépôts locaux, mais auxquels cependant on a toujours cherché à rapporter les assises des autres pays.

L'oolite inférieure, dont la puissance est de près de 100 mètres, se compose d'abord de sables légèrement calcaires, contenant des concrétions de carbonate de chaux. Au-dessus, se trouvent des calcaires bruns, durs, renfermant beaucoup de grains d'oxide de fer, puis ensuite vient la terre à foulon, formée d'une série d'assises marneuses et argileuses, dont une seule est exploitée et a donné le nom à l'ensemble.

La grande oolite est composée de calcaires jaunes, à structure essentiellement oolitique, recouverte par l'argile de Bradford, marne bleuâtre qui contient un grand nombre d'en-crines; puis viennent plusieurs couches de sables, d'argiles et de calcaires renfermant beaucoup de coquilles, et principalement des *avicules*, des *trigones*, plusieurs espèces de *térébratules*, etc., etc. La grande oolite est terminée par un calcaire friable, grossier, divisible en feuillets peu épais et très-nombreux.

Au-dessus, vient l'argile d'Oxford, qui atteint l'énorme développement de 185 mètres; c'est une argile tenace, d'une couleur blanc-foncé, offrant des lits subordonnés de calcaires et de schistes bitumineux. Le calcaire abonde surtout à la base de cet énorme banc, qui offre un fossile très-caractéristique, le *gryphaea dilatata*. Au-dessus, se trouvent de petites couches de sable calcaire, puis le corallin, calcaire friable, contenant une très-grande quantité de coraux et d'épines de dos d'échinites. Enfin, vient la véritable oolite jaune, à grains bien distincts et concrétionnés, que l'on exploite comme pierre de taille. Cet ensemble, qui recouvre l'argile, atteint 46 mètres d'épaisseur.

En allant toujours de bas en haut, on trouve, au-dessus de cette oolite, de nouvelles couches d'argile, qui, à Kimmeridge, ont une épaisseur de 132 mètres. C'est un assemblage d'argile schisteuse bleuâtre ou jaunâtre, avec des lits de schiste bitumineux; on y trouve des débris de sauriens, comme dans les autres assises du groupe oolitique, diverses coquilles, et particulièrement l'*ostrea deltoï-*

dea, qui est la plus caractéristique. Cette argile est recouverte par l'oolite supérieure ou oolite de Portland, épaisse de 57 mètres et composée de différents lits de calcaires grossiers, grenus, compactes ou oolitiques, offrant ainsi des degrés de dureté très-différents, renfermant de nombreuses coquilles, et caractérisée surtout par la présence du *pecten lamellosus* et de l'*ammonites triplicatus*.

Telles sont les principales assises de la formation oolitique qui se trouve si bien développée en Angleterre. Dans les autres contrées, on la voit varier, et certaines roches se substituent à d'autres, admettant plus ou moins de calcaire dans leur composition; mais, en somme, c'est une des formations les plus puissantes qui existent. On voit facilement qu'à l'époque de ces dépôts il y avait de grandes étendues de terre découvertes et que des pluies abondantes en entraînaient les débris; on voit les derniers grès se déposer sous les calcaires du lias; au-dessus, on ne trouve plus que des sables et des argiles pour les remplacer. Les forces actives qui, pendant les créations antérieures, avaient balayé le sol en corrodant sa surface, s'étaient affaiblies et les eaux charriaient des sables au lieu de graviers.

Un des caractères les plus remarquables de ce groupe jurassique, c'est la structure oolitique des calcaires qui, sans être constante et sans être une condition nécessaire de l'existence de cette formation, se montre néanmoins fréquemment et s'observe même sur les minerais de fer qu'elle renferme assez souvent. Cette structure se retrouve ensuite dans des terrains plus modernes et même sur les calcaires des bords de coraux qui se forment actuellement dans les mers tropicales. M. de Buch a aussi observé leur formation à l'Isleta, dans les grandes Canaries, et il regarde ces oolites modernes, ainsi que ceux de la formation jurassique, comme le résultat d'un mouvement très-continu de débris de coquilles dans une eau très-chaude¹.

L'opinion de ce savant géologue se joint à d'autres considérations pour nous faire supposer qu'en effet, à cette époque, les eaux possédaient encore une température très-

¹ Description des Canaries, p. 254.

élevée; elles avaient, selon toute apparence, le degré de chaleur le plus favorable au développement des animaux aquatiques; car on ne peut se faire une idée de l'énorme quantité de mollusques, de radiaires, de zoophytes qui ont laissé leurs dépouilles dans les différentes couches de cette grande formation. Presque toutes les espèces qui avaient commencé de se montrer dans les terrains inférieurs se retrouvent ici en plus grande abondance. Les ammonites, les bélemnites, les térébratules acquièrent leur plus grand développement, et une foule d'autres espèces partent de ce point pour se propager longtemps encore dans les couches supérieures.

Ce qui caractérise surtout la formation jurassique, c'est la présence de nombreux sauriens, que le terrain inférieur n'avait offert qu'en très-faible proportion. Ici les circonstances paraissent avoir été extrêmement favorables à leur propagation; d'énormes *ictyosaurus*, des *megalosaurus*, de singuliers *plesiosaurus*, et une foule d'autres espèces, habitaient les eaux pendant le dépôt des argiles et des oolites, et ont laissé leurs dépouilles près des continents, à l'embouchure des grands fleuves dans lesquels ils vivaient, sans doute comme nos crocodiles d'aujourd'hui. Des *ptérodactyles*, ou grands lézards volants, tenaient lieu des oiseaux qui n'avaient pas encore paru, et voltigeaient en étendant les larges membranes dont leurs membres étaient garnis.

Il paraît que ces nombreux sauriens formaient alors des tribus immenses qui pouvaient à la fois, comme nos crocodiles, habiter la fange ou les eaux, et dont les poumons étaient tellement organisés, qu'une proportion un peu considérable d'acide carbonique ne pouvait leur nuire. Les forces organiques capables de produire ces monstrueux reptiles eussent sans doute été suffisantes pour créer des mammifères et des oiseaux, s'ils eussent pu respirer dans un milieu aussi chargé d'acide carbonique; cependant on ne cite qu'un seul débris de mammifère, le *didelphis bucklandii*, qui vient, comme une anomalie, se présenter avant tous les autres. De nombreux poissons vivaient aussi pendant cette période géologique; la vie avait pris son essor, la température était la plus favorable à l'exis-

tence de tous ces êtres vivants, et les terres émergées se couvraient alors de nombreux végétaux.

GROUPE DE LA CRAIE.

Après les puissants dépôts des oolites, de leurs marnes et de leurs argiles, survint l'immense précipitation de la craie. Il s'en faut cependant que cette formation soit uniforme; elle présente au contraire de grandes différences sur presque toutes les localités où on la rencontre; c'est au point que, dans l'état actuel de nos connaissances, son seul caractère invariable est sa situation entre le groupe jurassique et les terrains de sédiment supérieurs.

Le groupe de la craie, considéré en grand, est formé, comme les terrains qui lui sont inférieurs, de sables, d'argile et de calcaires. Ces derniers en occupent la partie supérieure, tandis que les autres roches se développent à sa base; mais il y a une grande variété et dans les roches et dans leur développement. Le seul moyen d'étudier une formation dont les caractères offrent si peu de constance, consiste à se créer un lieu de rapport auquel on compare ensuite les autres dépôts du même genre, et, autant que possible, il faut choisir son terme de comparaison dans les points les plus compliqués de la formation. C'est l'Angleterre qui fournit ce type pour la craie, comme elle l'a déjà fait pour la partie supérieure du groupe jurassique.

On partage ordinairement le groupe de la craie en deux formations que nous allons successivement étudier.

Formation du grès vert.

A quelques exceptions près, cette formation renferme toute la portion arénacée du groupe, et se compose de plusieurs assises de sables et de grès que nous allons aussi partager en deux étages, comme l'a fait M. Labèche, dans son *Tableau des terrains*.

Le premier de ces étages est une formation d'eau douce, probablement toute locale; le second est un dépôt marin.

L'étage inférieur est composé de calcaire, de sables et d'argiles.

Le calcaire de Purbeck, exploité pour le

dallage des rues de Londres, alterne avec des couches de marne schisteuse et contient des débris de crocodiles, de poissons et des bœuvres.

Au-dessus, se trouvent des sables et grès ferrugineux dont l'épaisseur est de 122 mètres. Ce sont des couches alternatives de marnes, d'argile et de sables dans la partie inférieure, et au-dessus, des grès calcaires compactes. Ces couches renferment souvent des minerais de fer et se sont évidemment déposées dans l'eau douce. On y rencontre des lignites assez abondants, des sauriens, des os d'oiseaux, des *unio*, des *échinites*, des *paludines*, des *cyrènes*, des *cyclas*, des *avicules*, des *mytilus*, etc.

Ces sables ferrugineux sont recouverts par l'argile à lignites, à laquelle ils passent insensiblement, car cette argile renferme à sa base des couches de sable subordonnées. Bientôt après, ce sont de petits lits calcaires qui remplacent les couches de sable, et enfin l'argile plus pure prend une teinte grisâtre ou bleuâtre et devient schisteuse; elle contient, comme les sables qu'elle recouvre, des débris d'eau douce et surtout le *cypris faba* et le *tiripara fluviorum*. Ces argiles ont 91 mètres. L'étage supérieur de cette formation est formé par les véritables grès verts, masse très-puissante d'environ 150 mètres d'épaisseur, mais contenant toujours une argile marneuse dont l'épaisseur peut atteindre 46 mètres.

Les sables verts inférieurs sont aussi ferrugineux et offrent diverses nuances de couleur et divers degrés de dureté; ils sont généralement verts en bas et ferrugineux en haut. On y trouve de nombreux fossiles marins, dont les plus caractéristiques sont le *gervilia aviculoïdes*, le *thetis minor*, le *trigonia altiformis*.

Avant d'arriver aux sables verts supérieurs, on rencontre des couches de marne argileuse, presque toujours bleue et rude au toucher; elles renferment aussi des fossiles, parmi lesquels on distingue l'*inoceramus sulcatus*. Ces sables supérieurs contiennent de la marne verte et durcissent quelquefois assez pour être employés comme pierre de taille. Les fossiles y sont aussi assez répandus, et l'*ostrea carinata* paraît les caractériser.

Ces deux étages, de la même formation,

sont rarement réunis, et le premier, qui s'est déposé dans l'eau douce, paraît être un sédiment particulier à l'Angleterre.

Formation de la craie.

Cette formation, quelquefois très-étendue, termine la série des terrains de sédiment moyens ou terrains secondaires de la plupart des auteurs; elle se compose, d'après les beaux travaux de MM. Brongniart et d'Omalius d'Halloy, de trois assises assez distinctes dans leurs extrémités, quoique passant de l'une à l'autre par des nuances insensibles. La plus ancienne est la *craie chloritée*, appelée plus récemment par M. Brongniart *glauconie crayeuse*; elle est grisâtre, friable et toute parsemée de grains verts qui ressemblent beaucoup à la chlorite, et de nodules verdâtres ou rougeâtres qui, d'après M. Bertier, renferment beaucoup de fer, et souvent tant de chaux phosphatée qu'ils en sont presque entièrement composés. L'assise moyenne est la *craie grossière* ou *craie tufan*, grisâtre, sableuse, renfermant des marnes, et au lieu de silices pyromiques, des silices cornées peu foncées. L'assise supérieure est la *craie blanche*, qui est toujours mêlée de sable siliceux à grains très-fins, surtout dans ses parties les plus rapprochées de la surface du sol; c'est cependant la plus pure de ces trois couches.

La formation de craie est assez répandue (Hanovre, Westphalie, Holstein, île de Rugen, Angleterre, France), et se remarque surtout vers le bassin de Paris, dont elle est l'assise la plus inférieure; c'est toujours la *craie blanche* qui s'y montre.

Elle ne renferme que quelques couches subordonnées: des lits d'argile, des silices pyromiques et cornées, soit en plaques ou en rognons bien alignés, soit en petits filons, et caractérisant les parties supérieures de la craie. On y trouve aussi des pyrites globuleuses et de la stromantion sulfatée en petits cristaux transparents et bleuâtres, offrant les variétés nommées par Haüy *apotome* et *dyaxinite* (Meudon, Bougival). Mais ce qui caractérise essentiellement la craie, ce sont les débris organiques qu'on y trouve. Ces débris, inégalement répandus dans la masse, diffèrent non-seulement de ceux qu'offrent les terrains plus récents, mais ils présentent

aussi de très-grandes différences d'espèce et même de genre, suivant qu'ils appartiennent aux parties inférieures ou supérieures de la formation crayeuse. On remarque que c'est dans la craie tufau et dans la craie chloritée que se rencontre la plus grande portion de coquilles fossiles. La craie blanche du bassin de Paris renferme, suivant MM. DeFrance et Brongniart, beaucoup de *terrebratules* (*Terrebratula DeFrancii*, *T. plicatilis*, *T. alata*, *T. cornea*); de bélemnites (*Belemnites mucronatus*); d'oursins (*Ananchites pustulosa*, *A. ovata*, *Galerites vulgaris*, *Spatangus coranguinum*, *S. bufo*); des huîtres (*Ostrea conicularis*, *O. serrata*); des peignes; le *Castillus Cuvieri*; des astartes, des alcyons, des millepores, etc. La glauconie crayeuse et la craie tufau renferment (environs de Rouen, de Honfleur, du Havre, porte du Rhône près Bellegarde): *Gryphea auricularis*, *G. aquila*, *G. columba*; *Pecten intextus*, *P. asper*; *Terrebratula semiglobosa*, *T. gallina*; *Podopsis truncata*, *P. striata*; *Ostrea carinata*, *O. pectinata*; *Cerithium escaratum*; des crassatelles, des trigones, des encrinures et des pentacrinures (Angleterre), des nautilites et plusieurs ammonites. Ces deux derniers genres de coquilles sont particuliers à ces deux assises inférieures, car la craie blanche, près Paris, ne contient (à l'exception du *Trochus basteroti*) aucune coquille univalve à spire simple et régulière. C'est toujours dans les couches les plus anciennes que se présentent les ossements de grands sauriens (*monitors*) et de tortues de mer, des dents et des vertèbres de poissons rapportés aux *squales*.

On voit par ce qui précède que le groupe de la craie a été formé mécaniquement à sa partie inférieure et chimiquement à sa

partie supérieure, car on ne peut guère supposer qu'un dépôt aussi considérable soit un simple sédiment de matières calcaires enlevées par les eaux à des roches préexistantes de même nature. La présence de ces nombreux rognons de silex indique que les eaux qui ont amené le carbonate de chaux, contenaient aussi la silice, qui s'est réunie par séries de nodules, au lieu de se mélanger au calcaire et de le rendre siliceux. Cette seule circonstance fait entrevoir que le dépôt s'est formé très-tranquillement, sans secousse et sans agitation des eaux. On ne peut l'attribuer à une autre cause qu'à l'apparition de sources thermales, abondantes et nombreuses, qui, à plusieurs époques, mais ici pour la dernière fois, se sont montrées avec une grande intensité d'action. L'acide carbonique a dû se produire abondamment pendant cette période, car aucun animal à respiration complète n'a encore paru, et déjà, pendant le dépôt de ce calcaire, des houilles ont été produites. Telles sont celles d'Entrevignes, en Savoie, que M. de Beaumont considère comme appartenant à ce groupe. À l'exception de ces houilles, les débris des végétaux sont aussi rares dans la craie que les restes d'animaux y sont communs. Beaucoup d'espèces qui avaient pris déjà un très-grand développement dans la formation jurassique, se sont aussi multipliées dans la craie, mais n'ont pas été plus loin. Ainsi les bélemnites y ont pris un très-grand accroissement sans se montrer plus haut; les ammonites se sont arrêtées dans la même formation, ainsi que les gryphées, tandis que d'autres espèces, comme les *nummulites*, ont paru pour la première fois dans ce groupe et ont ensuite continué de se montrer dans les terrains qui lui sont supérieurs.

CHAPITRE TRENTE-SIXIÈME.

DES TERRAINS DE SÉDIMENT SUPÉRIEURS.

Lorsque la craie eut cessé de se déposer, la terre était encore loin d'offrir les caractères extérieurs qu'elle présente aujourd'hui ; mais cependant il s'était écoulé un grand laps de temps depuis les premiers dépôts de sédiment ; la croûte sédimenteuse s'était épaissie, l'action de la chaleur centrale se faisait sentir à la surface avec moins d'intensité, et ce fut à cette époque remarquable que l'ou vit paraître d'abord une végétation nouvelle dont celle des tropiques peut nous rappeler l'aspect, et ce nouveau développement de la vie animale, qui donna naissance aux mammifères et aux oiseaux. Pendant cette longue période géologique, de nouveaux terrains se formèrent ; de nombreuses assises de sable, de marnes, d'argiles, de gypse et de calcaires se succédèrent ou revinrent périodiquement à différentes époques, et comblèrent d'anciennes mers qui existaient encore, des golfes qui n'étaient pas émergés et de grands lacs d'eau douce situés au milieu des terres.

Plusieurs espèces d'animaux, et même des genres entiers, appartenant à la grande classe des mollusques, s'éteignirent avant de parvenir jusque dans ces terrains supérieurs à la craie ; mais en revanche, un nombre immense d'autres espèces, ainsi que des genres nouveaux se multiplièrent à tel point que l'on compte maintenant plusieurs milliers d'espèces (3000), dont les débris sont ensevelis dans les couches de ces terrains.

Aucune espèce fossile des terrains antérieurs n'a vécu jusqu'à notre époque, tandis qu'il n'en est pas de même des mollusques des terrains tertiaires dont nous nous occupons maintenant.

Les travaux remarquables de M. Deshaies l'ont conduit, sous ce rapport, à un résultat

très-curieux, au moyen duquel, considérant seulement les caractères zoologiques de ce terrain, il le partage en trois étages :

Le premier, c'est-à-dire le plus ancien, correspond à l'époque du plus grand développement des mollusques. Il en renferme 1,400 espèces, parmi lesquelles 38 seulement ont leurs analogues vivants, ce qui fait 3 p. 100.

Le second étage contient 900 espèces fossiles, sur lesquelles 161 ont leurs analogues vivants, ce qui donne 18 p. 100.

Enfin, le troisième renferme seulement 700 espèces, et offre plus de la moitié, ou 52 p. 100 d'espèces analogues aux nôtres.

Ces considérations ont conduit M. Deshaies à des recherches du plus grand intérêt ; c'est de comparer ces fossiles à ceux qui vivent maintenant sous diverses latitudes, et d'en déduire la température probable de cette époque. Il est arrivé, par ces données, à attribuer au climat de Paris, à l'époque du dépôt le plus ancien, une température moyenne de 27° $\frac{1}{2}$, qui se serait lentement abaissée jusqu'à notre époque. C'est été par conséquent une température un peu plus élevée que celle qui existe actuellement sous la zone torride. M. de Beaumont, qui s'est aussi occupé de cette question, pense qu'en prenant en considération les travaux de M. Ad. Brougniart, le climat de Paris, pendant la plus ancienne période tertiaire, doit avoir ressemblé beaucoup à celui de la basse Égypte, dont la température moyenne est au Caire de 22°.

En adoptant l'une ou l'autre de ces deux températures, il n'en est pas moins vrai que le climat a changé entièrement pendant la période tertiaire ou la période des terrains de sédiment supérieurs. Les espèces équatoriales se sont peu à peu éteintes ; et celles qui

peuplent actuellement nos contrées, les y ont lentement remplacées. C'est donc une des époques géologiques les plus curieuses que celle qui a pu opérer de tels changements, et qui a vu naître les nombreuses tribus d'oiseaux et de mammifères.

Ces terrains reposent immédiatement sur la craie, et, dans beaucoup d'endroits, il semble que la craie ait été dégradée avant de les recevoir et qu'il se soit écoulé un laps de temps assez considérable avant qu'elle en soit reconvertie. Ailleurs, il y a véritablement passage d'une couche à l'autre, et par la nature des roches et par les caractères des fossiles.

Ce terrain est ordinairement disposé en étages, dont la hauteur va décroissant jusqu'à la mer. M. J. Desnoyers a distingué dans la vallée de la Loire le plateau du Blaisois, éloigné de la mer de 50 lieues, et haut de 150 mètres, puis celui de l'Anjou, dont la hauteur n'est plus que de 50, et au-dessous celui de la Loire-Inferieure, qui est réduit à 15 et à 10 mètres¹.

On trouve peu de minéraux disséminés dans les terrains tertiaires : le fer est peut-être le seul métal que l'on y rencontre.

Tantôt ces terrains se sont déposés dans des eaux marines et d'autres fois dans des eaux douces. La nature des débris organiques caractérise ces deux genres de dépôts que l'on voit aussi alterner, comme si la mer avait, à plusieurs reprises, cédé aux eaux continentales des terrains qu'elle serait ensuite revenue envahir.

Cette alternance de formations marines et d'eau douce a donné lieu à diverses hypothèses ; mais celle qui a été proposée par M. Constant Prevost semble s'adapter parfaitement aux faits observés dans le bassin de Paris, et nous la reproduirons un peu plus loin.

Les dépôts qui appartiennent aux terrains tertiaires, offrent des différences très-notables dans leur composition. L'influence du climat s'y fait sentir bien plus que dans toutes les formations précédentes, et l'on s'aperçoit facilement que la terre approchait alors de l'état d'équilibre et de stabilité qu'elle nous présente aujourd'hui.

L'histoire des terrains devient de plus en

plus compliquée, à mesure qu'ils se rapprochent davantage de cette époque. Les descriptions générales, qui s'appliquaient à la totalité des dépôts des formations plus anciennes, ne conviennent plus à des sédiments que les circonstances locales font varier sur des points même très-rapprochés, en sorte que nous ne pourrions développer les caractères nombreux des terrains tertiaires qu'en dérivant les différents bassins. Les limites de cet ouvrage ne nous le permettent pas, et nous nous contenterons de décrire celui de ces bassins qui est à la fois le mieux connu, le plus compliqué, et qui sert d'horizon géologique pour tous ceux qui appartiennent à la même série. C'est le bassin de Paris, que les travaux de M. Al. Brongniart et de Cuvier ont rendu classique depuis la publication de leurs savants mémoires.

On peut partager le dépôt de sédiment supérieur des environs de Paris en deux étages superposés.

ÉTAGE INFÉRIEUR.

Il est principalement composé d'argile, de lignites, de grès et de calcaires, qui reposent immédiatement sur la formation de la craie.

La roche la plus ancienne est l'argile plastique, qui est généralement pure, onctueuse, grise ou bleuâtre, quise délaie facilement dans l'eau, et offre çà et là des veines ou des taches rouges ou jaunâtres, quelquefois blanches. Elle présente assez souvent deux assises séparées par une couche de sable. La couche inférieure est plus pure que la supérieure. Au-dessus de ces argiles se trouvent les premiers grès, dépôts siliceux, qui se présentent sous forme de buttes isolées, et qui semblent n'être autre chose que les témoins d'une vaste couche qui aurait rempli un ancien bassin et qui ensuite surait été dégradée.

Des lignites très-abondants et chargés de pyrites très-efflorescentes existent dans cette partie inférieure du terrain tertiaire, et y sont abondamment répandus. On y rencontre du succin. Il semble même que cette couche de lignites ait été plus étendue autrefois qu'aujourd'hui, et il est bien probable que des dégradations postérieures à leur dépôt en ont entraîné une grande partie, en même temps

¹ *Annales des Sciences naturelles*, t. XVI, p. 455.

que le grès dont quelques buttes isolées rappellent l'ancienne puissance.

Cette assise du terrain tertiaire est évidemment d'eau douce. On y trouve des *paludines*, des *métanies*, des *métanopseides*, des *physes*, des *lymnées*, etc., puis aussi des *huîtres*, des *cardites*, etc., qui annoncent un passage au terrain marin qui, en effet, vient bientôt se montrer.

Ce dépôt supérieur aux argiles à lignites est un calcaire grossier, jaunâtre, alternant avec des masses argileuses et calcaires, surmonté par des grès, et placé sur des sables verts. Cette portion de terrain tertiaire acquiert une épaisseur de 34 mètres, et se trouve quelquefois remplie par les argiles qui prennent alors un grand développement, comme dans le bassin de Londres. On trouve encore dans ce calcaire quelques empreintes de plantes, des débris de céphalopodes et un grand nombre de coquilles marines, telles que des *nummulites*, des *cerithes*, des *cardites* et un grand nombre d'espèces des genres *lucina*, *voluta*, *crassatella*, *ostrea*, *turritella*, *petuncululus*, *milliolites*, *cytherea*, *orbitolites*, etc.; mais l'espèce qui caractérise cette époque est le *cerithium giganteum*, que l'on rencontre principalement dans la partie inférieure du calcaire grossier.

ÉTAGE SUPÉRIEUR.

Cet étage peut être lui-même partagé en deux; car il est composé de nombreuses assises superposées, dont les unes ont évidemment été déposées sous les eaux douces, tandis que les autres l'ont été sous les eaux de la mer.

Le calcaire siliceux constitue la base de cet étage. C'est un calcaire tantôt blanc et tendre, tantôt gris et compacte, pénétré de matière siliceuse, qui s'est infiltrée à travers la masse et dans toutes les directions. Il est souvent cellulaire; les cavités sont quelquefois assez grandes et communiquent entre elles dans tous les sens. Les parois sont recouvertes par des concrétions siliceuses, mamelonnées, ou par de petits cristaux de quartz transparents. Il passe à la pierre meulière, qui, d'après les recherches de M. Dufrenoy, n'est souvent qu'un accident de ce calcaire.

Sur le calcaire siliceux, qui est une forma-

tion d'eau douce superposée au calcaire grossier d'origine marine, repose le gypse ossifère d'eau douce et les marnes marines. Cette formation gypseuse consiste en alternances de gypse et de marnes argileuses ou calcaires. Elle se développe beaucoup aux environs de Paris. On y distingue deux parties; l'inférieure, dans laquelle le gypse n'est pas encore puissant, est composée de couches multipliées et alternantes de sulfate de chaux plus ou moins cristallines et de marnes feuilletées. La partie supérieure offre le gypse en puissantes assises, tandis que la marne est réduite à de petites couches subordonnées. L'ensemble de la formation gypseuse a jusqu'à 34 mètres d'épaisseur. Elle est principalement caractérisée par la présence de nombreux débris de mammifères, que Cuvier a, pour ainsi dire, rendus à la vie. Ce sont des espèces qui n'existent plus maintenant et qui paraissent autrefois les bords du grand lac où leurs débris ont été charriés. Ces restes appartiennent aux genres *Palæotherium*, *anoplotherium*, *anthracotherium*, *lophiodon*, *choropotamus*, *adapis*, *vespertilio*, etc.

Des marnes d'eau douce, calcaires ou argileuses, terminent la formation gypseuse. Elles contiennent en abondance des *lymnées* et des *planorbes*, et l'on a découvert dans leur partie inférieure des feuilles de palmier d'une grandeur considérable. Ces marnes passent peu à peu à d'autres marnes marines qui contiennent beaucoup d'*huîtres* qui ont vécu sur les lieux mêmes. Elles sont jaunes ou verdâtres, et renferment aussi des *cythérées*, des *amputaires*, des *cerithes* et quelques débris de poissons.

A ces marnes succèdent les sables et grès marins supérieurs. Ce sont des couches irrégulières de sables et de grès siliceux, dont la partie inférieure ne contient que des restes organiques brisés et en très-petit nombre, ce qui fait supposer que ce peu de fossiles a été amené par les eaux et que leurs animaux n'ont pas vécu sur les lieux mêmes. Au-dessus d'eux se trouve un grès calcaire rempli de coquilles marines, telles que des *cerithium*, des *cytherea*, des *métania*, *ostrea*, etc.

Enfin, cette intéressante série de dépôts marins et d'eau douce est terminée par la formation d'eau douce supérieure, dont les ca-

raetères sont plus variables que ceux de toutes les assises précédentes. Tantôt ce sont des marnes blanches, friables et calcaires; tantôt ce sont de vastes masses de silice, auxquelles il faut rapporter une partie des pierres menlières. Celles-ci sont quelquefois tout à fait dépourvues de débris organiques, tandis que, dans d'autres localités, même très-rapprochées, on y trouve des *lymnées*, des *planorbes*, des *potamides*, des *hélices*, des *gyrogonites* ou graines de *chara*, le *nymphæa arethusa*, le *carpolites thalictroides* et des bois silicifiés.

Telles sont les nombreuses assises du terrain tertiaire des environs de Paris. On y reconnaît successivement, comme l'ont indiqué MM. Cuvier et Brongniart :

- | | |
|---|---|
| 1 ^{re} Première formation d'eau douce. | { Argile plastique.
Lignites.
Premier grès. |
| 2 ^{re} Première formation marine. | { Calcaire grossier. |
| 3 ^e Deuxième formation d'eau douce. | { Calcaire siliceux.
Gypse et ossements.
Marnes d'eau douce. |
| 4 ^e Deuxième formation marine. | { Marnes marines du gypse.
Sables et grès marins supérieurs.
Marnes et calcaires marins supérieurs. |
| 5 ^e Troisième formation d'eau douce. | { Meulière sans coquilles.
Meulière avec coquilles.
Marnes d'eau douce supérieures. |

Voilà donc des dépôts qui semblent nécessiter le retour périodique des eaux de la mer et des eaux douces, alternance que l'on a essayé d'expliquer au moyen de révolutions successives, tandis que M. Constant Prevost en a donné une théorie toute naturelle, et qui s'accorde avec les faits, sans avoir recours à ces nombreux cataclysmes que les géologues appelaient autrefois à leur secours.

Lors du dépôt du calcaire grossier, c'est-à-dire à l'époque où vivait le *corithium giganteum*, une grande mer occupait une partie de la France et de l'Angleterre, et quelques îles seulement, formées par le terrain de craie, s'élevaient au-dessus des eaux. Cet ancien état du sol dans cette partie de l'Europe, a été représenté par M. Élie de Beaumont dans une

carte jointe au Mémoire qu'il a publié sur l'étagage inférieur du terrain tertiaire¹. Ce ne fut donc pas dans un bassin, mais dans une véritable mer que commencèrent ces dépôts, à une époque où l'Europe était bien loin encore d'avoir acquis l'aspect et les limites qu'elle nous offre aujourd'hui. Un fait bien remarquable, mais analogue à ceux que nous avons déjà observés, c'est l'apparition d'une grande quantité de matières charbonneuses, pendant la première période qui a donné naissance aux terrains tertiaires. Le grand développement de la craie qui l'avait précédée avait sans doute répandu dans l'air une quantité d'acide carbonique, qui fut peut-être assez grande pour détruire la majeure partie des sauriens qui avaient paru pendant la formation jurassique. De nombreux végétaux se développèrent de nouveau, et leurs débris, entraînés par les eaux continentales, vinrent se déposer dans des golfes ou à l'embouchure des grands fleuves. Les phénomènes qui avaient apparu lors de la formation des houilles se renouvelèrent sur une plus petite échelle : la pression étant moindre, la chaleur moins forte, les végétaux étant différents, il se forma seulement des lignites qui, selon toute apparence, débarrassèrent l'atmosphère d'une quantité surabondante d'acide carbonique et permirent alors aux mammifères et aux oiseaux de venir animer la terre où ils pourraient désormais respirer.

La mer abandonna peu à peu le sol que les eaux pluviales vinrent bientôt raviner, et tout annonce que le bassin de Paris a été occupé par un grand lac d'eau douce, après la retraite de la mer, qui venait de déposer le calcaire grossier. « Cette mer, dit M. Prevost, avait formé des sédiments non-seulement dans la cavité profonde au centre de laquelle est Paris, mais aussi sur les bords élevés du bassin qu'occupent aujourd'hui les plaines de la Champagne, de la Bourgogne, par exemple, où cependant on ne les retrouve plus aujourd'hui que par places et y formant des îlots peu nombreux.

» La mer s'est retirée; elle a abandonné totalement les parties élevées, et les eaux

¹ Mémoires de la Société géologique de France, t. 1.

restées dans les parties basses y ont formé un ou plusieurs grands lacs; sans doute qu'un grand cours d'eau venant de l'est et sud-est pour se rendre à la mer, traversait le lac ancien, de même que le Rhin traverse aujourd'hui le lac de Constance, comme le Rhône traverse celui de Genève, et que les eaux douces ont remplacé ainsi successivement les eaux salées laissées par l'Océan dans sa retraite.

« Lamanou, qui avait cette idée, va même jusqu'à supposer que les eaux courantes qui sillonnaient et lavaient les craies de la Champagne, remplies de pyrites, tenaient en dissolution le sulfate de chaux produit par suite de la décomposition de celles-ci, et qu'arrivées dans le bassin de Paris, où leur cours devenait plus lent, elles déposaient ce sel par lits plus ou moins cristallins, selon leur degré de saturation.

« Quoi qu'il en soit de cette dernière supposition, il est évident que des couches gypseuses, ou des marnes qui renferment des lymnées, des planorbes, etc., recouvrent le fond de l'ancienne mer dans le bassin de Paris, qu'au-dessus de ces premiers lits s'en voient d'autres qui contiennent des corps marins, que les gypses reparaissent, et ainsi jusqu'à sept à huit alternatives.

« Supposons maintenant que le grand lac étant formé par la retraite de la mer, les eaux devenues douces commencent à produire des dépôts dans son sein et à nourrir des animaux nouveaux; qu'alors, par une circonstance dont la cause peut être facilement appréciée, une crue d'eau momentanée ait lieu dans les fleuves qui traversent le lac; ces eaux débordées balayent les parties hautes; elles reprennent les anciennes productions de la mer qu'elles rencontrent éparses sur leur passage; elles les charrient avec le limon et les déposent avec lui lorsque le courant se ralentit. La tranquillité revient-elle, le volume des eaux diminuant, elles se saturent de gypse, et de nouveaux dépôts cristallins et d'eau douce se forment; la répétition de la première cause produit une nouvelle couche dite marine, et ainsi de suite, jusqu'à ce que toutes les rives supérieures du fleuve qui sont à portée de ses débordements ordinaires, soient débarrassées de tous les débris de l'ancien Océan. Alors il n'y a plus que des dépôts

de gypse cristallisés, séparés seulement de temps en temps par des lits de marne sans coquilles.

« Si l'on voulait donner plus d'étendue à cette hypothèse, on pourrait l'appliquer à toute la formation de sable et de grès qui recouvre les gypses; on supposerait alors que ces sables et les fossiles marins qu'ils renferment sont contemporains de ceux du calcaire grossier; qu'ils couvraient depuis des siècles de vastes contrées à l'est et au sud-est de Paris, lorsqu'une grande débâcle qui, selon toute apparence, s'est faite du sud-est au nord-ouest, les a rencontrés dans sa route et est venue les apporter sur les gypses dont l'origine serait cependant plus nouvelle¹.

Ce qui semblerait donner encore du poids à cette théorie des affluents, proposée par M. Prevost, c'est le mode de disposition relative de ces divers terrains. Quoique ces étages reposent l'un sur l'autre, ils sont placés, ainsi que l'observe M. Omalius d'Halloy, comme les tuiles d'un toit, plutôt que comme les étages d'une maison, c'est-à-dire qu'ils ne se recouvrent pas complètement; mais leur position diffère aussi de celle des tuiles, en ce que l'étage supérieur, au lieu d'être le plus élevé est le plus bas, et que l'on voit chacun des étages suivants sortir de dessous celui qui le précède et atteindre une plus grande élévation, à l'exception cependant de l'étage inférieur, qui a peu de développement et qui est presque toujours recouvert par l'un des étages supérieurs².

Des terrains tertiaires, généralement moins compliqués que celui de Paris, et que l'on peut presque toujours comparer à l'un de ses étages, se représentent sur différentes parties de la France, de l'Angleterre, de l'Allemagne et même des parties septentrionales de l'Europe. L'Asie et l'Amérique septentrionale offrent aussi des formations analogues dont l'étude minutieuse doit jeter un grand jour sur quelques points encore très-obscurs des dépôts modernes. Nous ignorons si ces terrains de sédiment existent sur quelques points

¹ C. PREVOST, sur les grès coquilliers de Beauchamp, p. 14.

² OMALIUS D'HALLOY, *Éléments de Géologie*, p. 140.

de l'hémisphère austral, et si les causes climatiques qui ont concouru à les modifier sous les divers parallèles ont en la même influence sur l'autre moitié de la terre.

CHAPITRE TRENTE-SEPTIÈME.

DES TERRAINS DE TRANSPORT OU DES ALLUVIONS.

Lorsque les golfes ou les bassins dans lesquels se sont déposés les terrains tertiaires ont été comblés par ces divers sédiments, la terre présentait à peu près les caractères extérieurs qu'elle nous offre aujourd'hui. Nos grands continents étaient émergés ; plusieurs chaînes de montagnes avaient été soulevées, et déjà de nombreux cours d'eau sillonnaient sa surface. Ce fut à cette époque que commencèrent les terrains de transport qui sont dus à des matières entraînées et déposées par des crues d'eau qui lavaient des surfaces, tandis que les terrains de sédiment paraissent avoir été formés par ces mêmes débris, reçus d'abord dans de grandes masses d'eau, au milieu desquelles les dépôts s'opéraient lentement et tranquillement selon les lois de la pesanteur. Tout dans le sol de sédiment annonce une opération paisible, tandis que le terrain de transport est évidemment le résultat d'une action plus ou moins violente, depuis la simple force d'un ruisseau jusqu'à la débâcle la plus tumultueuse.

Le travail d'érosion qui a produit les terrains d'alluvion, se continue de nos jours, et nous arrivons, par des nuances imperceptibles, des derniers dépôts de terrains tertiaires aux alluvions modernes que déposent les eaux de nos rivières.

Quoiqu'il n'existe aucune transition brusque qui puisse nous permettre de séparer les alluvions en époques distinctes, nous observons cependant quelques différences qui peuvent nous autoriser à établir une division. Nous ne pouvons trouver ces caractères distinctifs dans la composition et la nature des roches, car ce sont des fragments arrachés

aux montagnes, et par conséquent provenant de formations antérieures. Mais nous remarquons dans le mode de création, des caractères assez différents pour établir deux groupes dans ce terrain. Le premier date d'une époque plus reculée. Il couvre de grands espaces, et présente parfois des blocs si volumineux que nos cours d'eau actuels ne pourraient parvenir à les charrier. Il semble que des eaux plus puissantes que celles qui existent maintenant, ont violemment transporté ces débris, et les ont entraînés à de grandes distances. Le second est l'effet longtemps continué de l'action actuelle des eaux ; c'est le dépôt de ces nombreux galets que toutes les rivières transportent, que tous les ruisseaux arrachent aux montagnes, et qui chaque jour se déposent sur nos plaines ou se rassemblent à l'embouchure des fleuves.

ALLUVIONS ANCIENNES.

Ces alluvions, plus étendues que les autres, en diffèrent encore par leur position quelquefois bien plus élevée que nos cours d'eau actuels, et nullement en rapport avec leur volume. Nous les voyons couvrir des plaines immenses, qui maintenant sont à peine sillonnées par une faible rivière. Quelquefois même le volume croissant des blocs, leur disposition en série, l'état de leurs angles, sont autant de caractères qui nous indiquent clairement leur origine, qui nous montrent leur marche, et nous laissent percevoir qu'ils ont été charriés par un courant précisément opposé à celui qui traverse maintenant le lieu où ils reposent. Ce sont donc des causes tout

à fait différentes de l'action érosive de nos cours d'eau qui ont formé ces anciennes alluvions, et ces causes, nous les avons étudiées en parlant des blocs erratiques qui sont les phénomènes les plus curieux de ce genre de terrain.

Ces alluvions sont composées de sable et de cailloux roulés en couches irrégulièrement stratifiées, ordinairement meuhles, et quelquefois agglutinées par des ciments calcaires et ferrugineux.

On y trouve disséminés des minéraux qui ont été arrachés aux roches cristallisées qui ont été disagréées par de longues et violentes actions d'érosion. L'or, le platine, l'iridium, l'osminin, l'étain, le diamant, le saphir, les spinelles et plusieurs autres pierres précieuses, se rencontrent dans ces alluvions qui furent assez puissantes pour détruire les roches qui les renfermaient, mais qui ne purent user les matières dures ou métalliques qui s'y trouvaient enfermées.

A cette même époque se rapportent les dépôts ossifères des cavernes, les brèches osseuses, une partie des fentes remplies par les minerais de fer pisiforme. Alors périrent les *mastodontes*, les *éléphants*, les *rhinocéros*, les *tapirs*, les *hyènes*, les *hyppopotames*, les *aurochs* et l'*ours des cavernes*, qui tous habitaient encore nos contrées maintenant refroidies. Alors se formèrent aussi les vastes alluvions sableuses de l'Afrique et de l'Asie; ces immenses déserts, dont le vent transporte maintenant les matériaux. Le soulèvement de grandes chaînes de montagnes, en vidant les lacs qui se trouvaient à leur pied, ou en charriant avec violence les eaux de la mer, a dû contribuer à ce transport évidemment brusque et rapide, et à l'anéantissement de races animales qui venaient de se développer à la fin de la période tertiaire.

Des courants partiels et animés d'une faible vitesse ne peuvent rendre raison de cette force de transport, et les grands pachydermes, conservés avec toutes leurs chairs dans les glaces de la Sibérie, annoncent également une destruction subite dans les lieux mêmes où ils sont enfouis, ou un transport rapide des lieux où l'on suppose qu'ils ont vécu.

ALLUVIONS MODERNES.

Nous n'avons rien à ajouter à ce que nous

avons dit de ces terrains en parlant des forces agissantes à la surface du globe; nous avons étudié les dépôts riverains, les deltas lacustres et ceux des grands fleuves. Les causes qui concourent à la formation de ces terrains offrent bien plus d'intérêt que leurs effets.

C'est à la même époque qu'il faut rapporter aussi les dépôts de tourbe, la terre végétale ou l'humus, le travail des madrépores qui élèvent les îles calcaires, et peut-être aussi l'enfouissement des forêts sous-marines.

Les débris organiques, abondants sur quelques points, appartiennent tous à des espèces actuellement existantes, et l'homme, qui paraît être le dernier créé de tous les animaux, n'a laissé ses dépouilles que dans ces dépôts dont la date semble coïncider avec celle des premiers âges de son histoire.

DU TERRAIN TUFFACÉ.

Nous désignons sous ce nom, avec M. Omalius d'Halloy, une formation essentiellement moderne, puisqu'elle se produit encore de nos jours, mais qui remonte aussi à une époque très-ancienne; c'est le dépôt presque toujours calcaire, siliceux ou ferrugineux des eaux thermales. Il présente les caractères des calcaires les plus modernes et les plus anciens; il nous offre toutes les nuances possibles entre des roches dures et compactes, et des dépôts cellulux ou friables. Les débris qu'il renferme sont ceux des animaux actuels, et principalement des coquilles d'eau douce qui vivent aux environs des lieux où il se dépose. On y rencontre aussi des empreintes de végétaux et des ossements humains.

Les roches de ces terrains ont en général un caractère concrétionné dû à la superposition lente et continue de la matière solide qui se dépose; mais si le dépôt s'opère dans un bassin, et que cette matière se divise d'abord dans l'eau, il se forme des couches tout à fait analogues à celles des terrains de sédiment. D'autres fois des matières sableuses ou des graviers sont cimentés par l'eau calcaire, et des grès de nature différente, à grain plus ou moins fin, semblent nous rappeler ces puissantes assises arénacées des terrains plus anciens.

Nous ne répéterons pas ce que nous avons dit de ces dépôts en parlant des eaux minérales. Nous ferons observer que ce terrain est produit par une action intérieure du globe, et que, sous ce rapport, il diffère entièrement des terrains de sédiment. Il lie en quelque sorte ceux-ci aux terrains d'épanchement que

nous allons étudier, et tout doit nous faire supposer que cette émission de l'intérieur à l'extérieur du globe, dure depuis longtemps, et n'est plus qu'un indice de cette même action, autrefois plus puissante, qui a donné naissance aux vastes dépôts de calcaire et de silice.

CHAPITRE TRENTE-HUITIÈME.

DES TERRAINS D'ÉPANCHEMENT OU CRISTALLISÉS.

Pendant que de nombreux et puissants dépôts s'opéraient sur la croûte consolidée du globe, et s'ajoutaient aux terrains primaires, cette croûte, brisée en différents endroits, livrait passage à des matières qui s'échappaient de l'intérieur pour se répandre à la surface. Ces phénomènes se renouvelèrent pendant toute la série des terrains de sédiment et de transport, c'est-à-dire pendant une longue suite de siècles. Mais comme la croûte de la terre s'épaississait toujours, comme la surface d'action qui existe au point de contact de la partie oxidée ou extérieure du globe, avec la partie intacte ou intérieure, s'éloignait sans cesse en se rapprochant du centre de la terre, il a dû en résulter de fréquentes variations dans la nature des roches épanchées au dehors, et dans les circonstances qui ont accompagné les éruptions. C'est en effet ce qui a eu lieu.

Si les dépôts de sédiment étaient continus et uniformes, c'est-à-dire s'ils s'étaient tous étendus en une croûte mince et d'égale épaisseur, ils auraient enveloppé la terre de larges couches superposées, dont les plus récentes eussent été placées en dehors et les plus anciennes en dedans; mais on sait qu'ils sont au contraire assez limités, souvent interrompus, et que dans un grand nombre de lieux il ne s'est rien déposé sur les terrains primaires. Si, en dessous de ces terrains, le refroidissement s'est opéré uniformément sur toute la terre, des couches diverses de roches

solidifiées doivent se trouver au-dessous d'eux, disposées précisément dans l'ordre de leur refroidissement avec une épaisseur égale, et de telle manière que les plus modernes, c'est-à-dire les dernières solidifiées, seront les plus profondes et seront recouvertes par toutes les autres. Nous devons supposer que cette uniformité n'existe pas, et que le refroidissement ayant lieu d'une manière inégale, la solidification doit également s'opérer d'une manière irrégulière. Il en résulte que les roches épanchées, à des époques différentes, doivent varier de nature et s'éloigner de la composition des roches primitives, à mesure qu'elles s'en éloignent aussi par l'âge. C'est pourquoi nous voyons les laves qui sortent aujourd'hui de nos volcans, présenter des cratères très-différents de ceux des granites qui sont les premières roches épanchées, tandis que les laves sont les dernières.

Entre ces deux sortes de roches se trouvent les diversés variétés de porphyres, les basaltes et les trachytes, qui tous diffèrent entre eux, et qui tous sont sortis à des époques distinctes.

Cette série de granite, porphyre, trachyte, basalte et lave, disposée dans l'ordre d'ancienneté, correspond généralement à diverses époques de la série de sédiment et de transport; mais il n'y a cependant rien de bien fixe à cet égard, et l'on voit quelquefois les plus anciennes de ces roches reparaître à plusieurs

reprises avec les mêmes caractères ou avec des différences peu tranchées. Nous ne pouvons pourtant déterminer leur âge d'une manière précise, car nous savons que l'augmentation de température, en descendant dans l'intérieur du sol, offre de grandes variations, et peut-être la solidification de telles ou telles roches est-elle moins avancée dans telle partie de la terre que dans d'autres. Il peut se faire, par exemple, que les porphyres de l'Amérique se soient fait jour à la même époque que les trachytes, ou du moins longtemps après la sortie des porphyres européens : l'inverse peut également avoir eu lieu. La sortie de l'une ou de l'autre de ces roches n'indique pas l'addition d'une couche de même nature dans l'intérieur du globe, mais elle nous annonce la solidification de la roche précédente. Ainsi, quand les porphyres cessèrent de se montrer et furent remplacés par les trachytes, c'est que les premiers venaient de se solidifier, puisqu'on ne les voyait plus reparaitre.

Si maintenant nous comparons les caractères des roches de sédiment et des roches d'épanchement à ceux des roches primaires, nous trouverons de grandes ressemblances entre ces roches et celles qui, appartenant aux deux séries ascendante et descendante, les touchent immédiatement, en sorte qu'il n'y a réellement de véritable discontinuité de composition et de caractères que dans les parties supérieures de la série, où les roches d'épanchement, qui arrivent des points les plus profonds se trouvent en contact avec les dépôts de sédiment les plus modernes. Tout le reste n'est que passage et transition, et si, arrivé à la base du terrain de sédiment, on percevait les terrains primaires qui le supportent, il est probable que l'on verrait ceux-ci passer aux granites, ces derniers prenant peu à peu les caractères des porphyres auxquels succéderaient les trachytes, puis les basaltes et les laves. Nous retrouvons, en effet, tous ces passages dans les massifs épanchés sur la terre, et intercalés dans les divers groupes des terrains de sédiment que nous venons d'étudier.

Il y a eu aussi de grandes différences dans le mode d'émission de ces matières fondues. Quand la terre, à peine refroidie, venait de produire les terrains primaires, sa croûte,

encore mince, était à chaque instant soulevée ou percée sans beaucoup d'effort par les roches granitiques qui s'épauchaient au-dessus d'elle, et formaient des amas plus ou moins étendus. Plus tard, les porphyres, quoique éprouvant une plus forte résistance, se firent jour à travers de puissantes assises de sédiment, ou bien suivirent les fissures déjà ouvertes par la sortie des granites; ils vinrent s'entremêler au milieu de ces roches, formant tantôt des massifs considérables, tantôt des filons d'épaisseur variée, qui traversaient les terrains préexistants. Ils eurent, selon toute apparence, une grande force soulvante, et leur sortie déranger la stratification de plusieurs contrées, et fut peut-être la cause première du soulèvement de vastes chaînes de montagnes.

Les trachytes, qui leur succédèrent, s'élevèrent en dômes quelquefois immenses, où sortant par des fentes, s'épanchèrent en larges nappes sur des terrains divers. D'autres fentes ont produit les basaltes, qui presque tous ont coulé; puis enfin les laves modernes, s'élevant avec peine jusqu'au sommet de leurs cratères, ont terminé la série des éruptions et des roches épanchées.

Nous allons étudier chacun de ces groupes, en commençant par les plus modernes.

GROUPE LAVIQUE.

Nous n'avons presque rien à dire sur un groupe dont nous avons étudié les caractères avec détails en parlant des volcans et de leurs effets.

Les volcans modernes sont disposés par chaînes ou par groupes formés de plusieurs montagnes de scories, de cendres et de pouzzolane. C'est de ces cônes de matières incohérentes que sortent les coulées de lave qui couvrent quelquefois, comme en Islande, de très-vastes espaces. Ces laves sont tantôt pyroxéniques comme les vrais basaltes, tantôt feldspathiques comme les trachytes et les phonolites; d'autres fois elles sont caractérisées par la présence de l'amphigène. Ces laves, désignées sous les noms de téphrine, leucostine, basalte, obsidienne, composent tous les terrains laviques avec les matières incohérentes que nous avons désignées. On

peut y ajouter quelques conglomérats produits par l'action des eaux sur ces diverses matières, d'où résultent différentes variétés de roches désignées sous le nom de *pépérine*. On trouve dans ce groupe une foule de minéraux sublimés.

Le terrain lavique est superposé à tous les terrains de sédiment, même aux supérieurs et aux alluvions anciennes. C'est une formation toute récente, parallèle aux travertins déposés par les eaux minérales.

On partage ordinairement ce groupe en deux étages qui se confondent : les volcans contemporains ou encore en activité et les volcans éteints. L'Etna, le Vésuve, Ténériffe, sont des exemples des premiers ; on observe les seconds en Auvergne, dans l'Eifel sur les bords du Rhin, en Catalogne, etc.

GROUPE BASALTIQUE.

Le *basalte* est la roche principale de ce groupe. Il est composé de feldspath et de pyroxène en excès. Quelquefois ces deux substances sont séparées en petits cristaux qui donnent à la pâte une structure cristalline ; la roche, dont les éléments deviennent ainsi visibles, prend le nom de *dolerite*. D'autres fois le basalte prend un aspect terreux, une couleur grisâtre ou jaunâtre ; il perd sa dureté et constitue la *wake*. Enfin, la pâte des basaltes contient divers minéraux, dont les plus communs sont le pyroxène augite, le carbonate de chaux, la mésothite et quelques autres zéolithes, et surtout le péridot qui est très-commun et caractéristique.

Le basalte se présente en couches, en dykes ou amas, et en filons.

Les couches ont souvent une grande étendue et une certaine épaisseur ; elles couvrent de vastes terrains de nature différente, et sont remarquables par les surfaces planes qu'elles présentent, tandis que les laves modernes sont toutes raboteuses et hérissées d'aspérités.

Les dykes ou filons forment presque toujours le sommet des montagnes, ou des masses isolées coniques, qui se sont accumulées sur leur point d'éruption, ou qui se sont moulinées dans de larges fentes dont les parois ont ensuite été entraînées.

Les filons sont des fentes généralement

étroites, injectées par en bas, et dont les affleurements forment souvent des saillies considérables au-dessus du sol.

Il arrive quelquefois que ces divers modes d'éruption des basaltes, surtout les deux premiers, sont accompagnés de matières scoriifiées analogues à celles des volcans modernes.

Un des principaux caractères des basaltes, dont nous nous sommes déjà occupé en parlant des phénomènes de refroidissement, est la structure prismatique de cette roche. Elle se reproduit non-seulement dans les coulées et dans les dykes, mais aussi dans les filons, qui sont quelquefois composés de petits prismes couchés les uns sur les autres. D'autres fois les basaltes présentent la structure tabulaire ou globulaire. Les laves modernes offrent aussi, quoique rarement, les mêmes caractères quand elles ont pu se refroidir lentement, en masses considérables et sur des plans non inclinés. Les émissions de basalte sont presque toujours accompagnées de roches meubles ou terreuses contenant des fragments de véritable basalte, et situées entre cette matière et le terrain qu'elle a traversé pour s'épancher. On les désigne sous les noms de *wake*, de *pépérite*, de *wakite*, etc.

D'un autre côté, le basalte passe par nuances aux laves pyroxéniques et aux trachytes noirs avec pyroxène. Il semble aussi, dans quelques circonstances, prendre les caractères des spilites ou roches à base d'amphibole.

En venant au jour à une époque où tous les terrains de sédiment étaient déjà déposés, il les a nécessairement traversés, en sorte qu'on le rencontre dans tous les terrains au milieu desquels il s'est insinué en couches, en filons ou en dykes, ne dérangeant quelquefois que très-peu leur stratification et altérant plus ou moins les roches qui se trouvaient en contact avec lui.

L'éruption du basalte n'a pas été simultanée, et l'on peut distinguer assez facilement dans chaque contrée plusieurs apparitions successives de la même roche, mais dont il serait très-difficile de calculer les intervalles de reproduction. La direction des courants et leur degré d'altération sont les caractères que l'on peut consulter pour cela avec le plus de succès.

Beaucoup de basaltes étant antérieurs aux

grands mouvements de transport qui ont eu lieu après la période tertiaire, on en voit qui sont tout à fait dégradés. Après avoir coulé dans des vallées, après s'être épanchés en larges nappes dans les lieux les plus bas, les parois contre lesquelles ils s'étaient moulés ont été enlevées, surtout quand elles étaient composées de terrains meubles et peu cohérents, et le basalte, qui occupait alors le point le plus bas, a protégé le sol qu'il recouvrait, et s'est trouvé ainsi former des plateaux escarpés. L'érosion a été telle dans quelques localités, que les basaltes eux-mêmes ont été atteints, et leurs longues coulées, séparées par de petites vallées d'érosion, n'offrent plus que des massifs détachés, mais se raccordant par leur situation et leur niveau avec ceux qui les précèdent ou ceux qui les suivent.

Le groupe basaltique est très-développé en Écosse, en Irlande, dans les Hébrides, dans l'Auvergne et le Vivarais. On le retrouve aussi dans la Hongrie et dans l'Amérique; mais dans ces contrées, le développement des trachytes semble avoir arrêté celui des basaltes, ou du moins les avoir rejetés à une certaine distance.

GRUPE TRACHYTIQUE.

On a souvent discuté l'âge relatif des trachytes. Quelques géologues les considèrent comme postérieurs aux basaltes, et M. de Buch admet que souvent des dômes de trachyte ont percé, pour se faire jour, des nappes de basalte préexistantes. Peut-être, en effet, existe-t-il des trachytes qui sont postérieurs au basalte, mais en général cette roche s'est montrée avant la précédente. Du reste, elle se lie si bien d'un côté aux basaltes à cristaux de pyroxène et de feldspath, et de l'autre aux porphyres dont il est si difficile de le distinguer, que sa place doit nécessairement se trouver entre ces deux roches, tandis que le basalte ne peut être séparé des véritables laves.

D'un autre côté, le groupe trachytique a des rapports bien marqués avec les volcans modernes. Les laves de ces derniers, quand elles sont feldspathiques, se rapprochent jusqu'à un certain point des trachytes et des phonolites; les scories sont quelquefois des fragments de la même roche simplement al-

térée. Enfin, l'on sait que la plupart et peut-être tous les volcans modernes ne sont que des cônes trachytiques ouverts à leurs extrémités et couverts d'un manteau de déjections.

Les roches de ce groupe sont le *trachyte*, le *phonolite*, l'*obsidienne*, la *ponce* et les *conglomérats trachytiques*.

Le *trachyte* est une roche feldspathique qui enveloppe des cristaux de feldspath, mais qui contient accidentellement du pyroxène, du mica, de l'amphibole, rarement du quartz et plus rarement encore du périclase. Il est rude au toucher, fusible au chalumeau, et présente ensuite une foule de caractères différents dus à la texture de la pâte, à sa couleur, à sa dureté, au nombre, à la forme, à la teinte des cristaux, etc.

Le trachyte forme des coulées étendues comme le basalte, des dykes et des filons; il offre les mêmes caractères de situation et souvent les mêmes divisions prismatiques ou tabulaires, excepté celle en boules, qui est beaucoup plus rare. Cependant ce terrain est moins disséminé que la formation basaltique. Il forme à lui seul des massifs composés de montagnes coniques ou déchirées, ou des cônes alignés et d'une prodigieuse élévation, comme le Chimborazo et plusieurs autres montagnes de la chaîne des Andes. Ainsi, tandis que les basaltes cherchent à s'étendre sur un grand espace ou à se disséminer partout, les trachytes, au contraire, se groupent et se réunissent.

L'*obsidienne* peut accompagner les trachytes; mais elle y est toujours en petite quantité. Il n'en est pas de même des *phonolites*, qui semblent n'être autre chose que des trachytes mieux fondus et sans structure porphyroïde. On voit ces roches se développer peu à peu, comme subordonnées à la précédente, puis occuper seules de grands espaces.

Les *ponces* abondent aussi dans certains terrains trachytiques, et on les trouve toujours libres, mais entassées les unes sur les autres comme les grêlons quand ils se tassent sur le sol. La présence des ponces, et surtout celle de puissants conglomérats, annoncent de grandes éruptions pulvérolentes analogues à celles des volcans modernes, tandis que les basaltes n'ont jamais rien offert de semblable. Les ponces n'ont pas ordinairement été ré-

unies par les eaux, mais il n'en est pas de même des conglomérats ponceux. Ceux-ci sont formés de couches blanches, de fragments de ponce et de trachytes, quelquefois même de débris d'autres roches que les eaux y ont charriés. Toutes ces matières forment, au pied ou sur le flanc des montagnes trachytiques, des amas irréguliers, parfois très-étendus, et entourent les pics ou les dômes jusqu'à une grande élévation. Des filons traversent les conglomérats qu'ils ont eu partie fondus. On y rencontre, quoique rarement, des lits de lignites et des empreintes de feuilles dycotylédones. On y trouve aussi des opales comme en Hongrie, des mines d'or et d'argent, qu'il faut peut-être rapporter à des terrains de porphyre altéré.

Enfin, les domites, qui forment çà et là quelques montagnes isolées, comme en Autriche et aux monts Eugauéens, sont encore une modification des trachytes.

La position géologique de la formation trachytique n'est pas encore bien déterminée. On s'accorde pourtant généralement à la considérer comme immédiatement superposée aux terrains de sédiment supérieurs, et l'on peut, pour ainsi dire, lui appliquer tout ce que nous avons dit de la position du basalte. Comme ce dernier, le trachyte a été injecté dans des roches toutes formées; il a formé des plateaux, des pics et des filons qui doivent peu s'éloigner de l'époque de l'apparition des basaltes, mais qui lui sont généralement antérieurs. Quelques géologues regardent même cette formation comme contemporaine des derniers dépôts de sédiment moyens, comme ayant commencé de paraître à l'époque de la craie; mais cette manière de voir exige encore quelques vérifications très-exactes.

La formation trachytique existe très-développée dans les Andes et en Hongrie. On la retrouve au Cantal, au mont Dore, au Mézin, qui est principalement phouolitique, au puy de Dôme, dans les monts Eugauéens, aux Sept-Montagnes, sur les bords du Rhin, etc.

GROUPE PORPHYRIQUE.

Des roches nombreuses et extrêmement variées ont toujours le feldspath pour base, passant à la fois au granite, au basalte et au

trachyte, composent le groupe porphyrique, qui est très-répandu, qui a traversé presque tous les terrains, et qui s'est souvent intercalé entre leurs couches.

La plupart des roches que l'on désigne sous cette dénomination ont réellement la structure du porphyre, c'est-à-dire qu'elles offrent une pâte compacte et diversement colorée, contenant un nombre plus ou moins grand de cristallins, de feldspath, de quartz ou de pyroxène.

Tantôt ces roches se sont épanchées en larges nappes ou en volumineux amas, à la manière des basaltes; d'autres fois elles sont sorties comme des filons qui ont traversé un grand nombre de terrains avec lesquels ils ont de fréquentes relations.

Il est probable que l'émission des roches porphyriques s'est continuée très-longtemps; car on rencontre les porphyres associés à des roches de tous les âges, s'interposant comme de véritables couches dans les terrains de sédiment, ou suivant les joints de la stratification. On les voit se mélanger aux granites, se confondre avec les basaltes, s'unir aux terrains primaires et offrir des passages presque insensibles avec des roches arénacées, telles que les grès et les arkoses surtout, qui lui sont presque toujours associés. L'action des porphyres sur les roches avec lesquelles ils se trouvent en contact est toujours des plus remarquables. Les grès sont attaqués et tellement confondus avec la roche ignée, que l'on a cru quelquefois qu'ils devaient leur origine à des porphyres altérés, tandis que d'autres géologues n'ont vu dans le porphyre que des grès fondus et modifiés par une chaleur intense.

Quelques régions du groupe porphyrique sont très-riches en gîtes métallifères; aussi, une partie des mines d'or et d'argent de l'Amérique se trouvent dans ces roches, et peut-être aussi doit-on leur rapporter quelques-uns des gîtes métallifères de la Hongrie. Si ces métaux ne sont pas dans le porphyre, ils sont dans une roche trachytique qui en présente les caractères et qui forme le passage entre ces deux groupes.

Il est bien difficile de séparer minéralogiquement les différentes roches du groupe porphyrique, et la difficulté serait plus grande

encore pour y établir des coupes géologiques. Nous adopterons celles qui ont été proposées par M. Omalius d'Halloy, comme étant les plus naturelles. Ce savant partage ce groupe en trois sections.

1° Porphyre rouge ou quartzifère; 2° porphyre vert ou serpentiniteux; 3° porphyre noir ou pyroxénique. « Mais il faut éviter, dit-il, de donner à ces noms un sens trop rigoureux; car on conçoit qu'ils indiquent des propriétés trop accidentelles pour qu'elles soient exclusives, d'autant plus, pour ce qui concerne la couleur, que la nature a une grande tendance à présenter l'association des couleurs verte et rouge, ce qui provient probablement de ce que ces deux couleurs résultent également des combinaisons du fer. Aussi, est-il rare de voir des roches vertes sans qu'elles ne contiennent des parties rouges ou sans qu'il n'y ait des roches rouges dans leur voisinage. Il en est de même des roches rouges par rapport aux parties vertes. D'un autre côté, la couleur noire n'est souvent qu'un vert foncé. C'est notamment ce que l'on voit dans les roches amphiboliques. On ne doit donc voir dans ces dénominations qu'une indication propre à rappeler que le rouge, le vert et le noir sont les couleurs les plus fréquentes dans chacun de ces systèmes; qu'en outre, le premier contient souvent des grains de quartz; que le second est principalement formé de serpentine, et que le troisième renferme souvent du pyroxène; mais outre que ces caractères ne doivent pas être pris exclusivement, on ne peut assurer que la division qui en résulte annonce réellement des distinctions géologiques¹. »

Porphyres noirs.

Les roches noires que l'on peut rapporter à ce groupe sont principalement les *trapp*, les *mélaphyres*, auxquels on pourrait ajouter les *spilites*, certaines *amygdaloïdes* et plusieurs autres roches.

Les *trapp*, dont la composition n'est ni bien connue ni bien constante, sont des roches à texture terreuse ou compacte, noirâtres ou verdâtres, et fusibles en émail noir. Ils contiennent sans doute de l'amphibole et

du feldspath, quelquefois du pyroxène, qui les rapprochent des véritables basaltes avec lesquels ils ont d'ailleurs beaucoup d'analogie.

Les *trapp* se rencontrent en larges nappes ou en dykes, comme les basaltes; ils forment aussi des filons et constituent une formation très-développée dans certains pays et notamment en Écosse et dans le nord de l'Angleterre. Ces roches offrent aussi des passages à la dolérite et aux amygdaloïdes, et sont souvent accompagnées de roches terreuses, comme les *wakes* et les argilolites.

Les *mélaphyres* constituent, selon M. de Buch, une des roches les plus importantes du groupe des porphyres. Ils sont souvent associés aux porphyres rouges, et ont contribué comme eux à amener de grandes perturbations dans le groupe du grès rouge. Le type du *mélaphyre*, ou porphyre pyroxénique, existe dans la vallée de Fassa, en Tyrol, qui a été si bien décrite par M. de Buch. Ce sont eux qui, selon toute apparence, ont amené la magnésie dans les calcaires et ont produit ces phénomènes de dolomisation que nous avons décrits plus haut. Ce sont des roches massives contenant plus de cristaux de feldspath que de pyroxène, et manquant de quartz et de péridot.

Porphyres verts.

Les roches porphyriques vertes sont peut-être plus modernes que les noires. Elles consistent principalement en *ophite*, en *serpentine* et en *euphotide*, roches à base de feldspath ou d'amphibole et en même temps magnésifères.

Les *ophites*, qui ont été soigneusement étudiés dans les Pyrénées par M. Dufresnoy, constituent des monticules arrondis généralement situés dans les vallées. Ce sont probablement les porphyres les plus modernes. Il semble que ces *ophites* soient sortis à l'état pâteux par de larges fentes. M. Dufresnoy pense que cette roche forme le fond du sol dans les Pyrénées occidentales, où elle se présente très-fréquemment, et qu'elle se trouve à une petite profondeur. Ce savant considère les masses de sel gemme et les amas de gypse de cette contrée comme une conséquence de l'apparition de ces porphyres. Ils ont, du

¹ OMALIUS, *Éléments de Géologie*, p. 354.

reste, produit diverses altérations dans les calcaires qui sont caverneux, cariés, en partie cristallins et en partie dolomisés.

Dans les Alpes, ce sont les serpentines qui tiennent la place qu'occupent les ophites dans les Pyrénées, et on les voit passer à l'*enphotide*, aux *variolites* ou *roches talqueuses*. Tantôt elles se rapprochent des *gneiss* et des *granites*; d'autres fois elles admettent peu à peu du feldspath et passent à quelques variétés d'*eurite*. On a cru observer aussi des rapports de gisement entre ces roches serpentineuses des Alpes et les ophites des Pyrénées. Ces deux espèces de roches contiennent des pyrites et du fer oxydulé, et peut-être les gypses et le sel gemme de Bex et d'autres localités des Alpes ne sont-ils dans le groupe jurassique qu'une altération analogue à celle qu'ont fait éprouver à la craie des Pyrénées les ophites qui se sont fait jour à travers.

Porphyres rouges.

Ceux-ci sont les plus anciens et les plus fréquents; ils ont traversé presque tous les terrains inférieurs au grès bigarré, et se sont confondus avec eux.

Ils consistent en masses plus ou moins puissantes ou en filons, composés de roches à pâte feldspathique, rougeâtre, contenant du quartz ou du feldspath. Ces roches passent fréquemment au granite, à l'*enrite*, à la *syénite*, au *spilite* et à la *variolite*. Des trois étages du groupe porphyrique, c'est le plus étendu et le plus fréquent. Il se lie d'une manière toute particulière au grès rouge et aux arkoses; il se confond même avec les terrains primaires, mais moins intimement que les porphyres verts et surtout les serpentines.

On trouve souvent les porphyres rouges dans le terrain houiller, mais il se lie moins à ce terrain qu'à celui qui le recouvre.

C'est probablement à cette division qu'il faut rapporter les porphyres des Cordillères, qui s'étendent, selon M. de Humboldt, sur une longueur de 2,500 lieues. Ce sont eux qui contiennent presque toutes les richesses métalliques du Nouveau-Monde. Ils s'associent aux trachytes, qui forment dans cette chaîne les dômes les plus élevés.

En voyant cette variété d'émissions porphyriques, les roches nombreuses dont elles sont composées et leurs fréquents passages, on reconnaît facilement que plusieurs formations spéciales sont confondues sous cette dénomination de groupe porphyrique. Elles comprennent toute la période placée entre les granites et les trachytes, période immense que des connaissances ultérieures permettront de subdiviser, en rapportant à l'âge mieux connu des terrains de sédiment les formations d'épanchement qui leur correspondent.

GROUPE GRANITIQUE.

La roche dominante de ce groupe est le granite, dont la structure, formée par l'assemblage de divers cristallins, est devenue le type de la structure granitoïde. Cette roche est composée de trois éléments ou de trois espèces minérales, le *feldspath*, le *quartz* et le *mica*. Ces matières sont toujours cristallisées, de formation contemporaine; elles se pénètrent mutuellement, mais leurs proportions varient quelquefois dans le même fragment.

Sous le rapport minéralogique, on voit aussi le granite changer de nature ou de texture et offrir par conséquent un nombre infini de variétés. Si le mica est remplacé par du talc, de la stéatite ou de la chlorite, il prend le nom de *protogyne*; si c'est par de l'amphibole, c'est de la *siénite*; ou du *pegmatite* s'il manque tout à fait; du *kaolin* si le *pegmatite* est altéré. Si le feldspath prend la texture grenue, la roche prend le nom de *leptynite*, et en changeant de texture, en admettant quelques autres minéraux, on trouve des passages aux porphyres, aux diorites, aux ophites, etc.; mais une des transitions les plus remarquables de cette roche est celle par laquelle elle passe insensiblement aux roches arénacées et principalement aux arkoses.

Le granite est la plus ancienne des roches d'épanchement; il est même très-probable qu'elle fait partie des roches primitives, et que les premiers granites se sont formés en même temps que les gneiss et les micaschistes. A peine la croûte extérieure du globe a-t-elle été solidifiée, que d'abondantes émissions eurent lieu à travers ses fentes, et ce fut alors que les granites commencèrent à s'épancher.

en se liant intimement aux roches sédimentaires qui se déposaient en même temps. Aussi, depuis la consolidation des premières roches originaires, les granites se sont épanchés et se sont confondus avec elles.

A cette époque, l'épanchement s'opérait tranquillement, et l'éruption ne donnait lieu, pour ainsi dire, à aucune secousse; mais peu à peu les sédiments augmentèrent l'épaisseur de la croûte solide de la terre, et de nombreuses fractures y laissèrent des fentes dans lesquelles le granite s'injecta et se solidifia sous forme de filons.

Les éruptions granitiques durèrent très-longtemps, comme celles des porphyres, et l'on vit à plusieurs reprises cette roche venir s'épancher sur des terrains modernes comparativement à ceux qui, les premiers, lui livrèrent passage.

M. de Buch fut le premier qui signala, près de Christiana, en Norwége, des granites qui reposaient de la manière la plus évidente sur des terrains de sédiment. Depuis lors, le même géologue et M. de Humboldt trouvèrent dans la vallée de Fiemme, en Tyrol, des masses de granite et de sienite enfermées aussi dans des terrains de sédiment, et qui semblent déborder du grès rouge dans le calcaire qui lui est superposé. Les granites des Pyrénées sont intercalés dans des couches calcaires, où ils ont certainement été introduits postérieurement à leur formation, puisque l'on y remarque une partie des altérations que nous avons signalées en parlant des actions de contact.

Enfin, il y a seulement quelques années, M. de Beaumont a reconnu, dans l'Oisans, des granites superposés aux groupes jurassi-

que et crétacé. Les observations qu'il a faites sur l'altération des roches au point de contact, ne peuvent laisser aucun doute sur cette superposition, ni sur la température élevée que possédaient encore ces roches quand elles se sont épanchées.

On voit qu'à des époques différentes et très-éloignées, les granites, comme les porphyres, sont sortis de la terre pour s'épancher au dehors, et ont altéré plus ou moins les roches qu'ils ont traversées.

Un grand nombre de substances minérales sont disséminées dans les granites; mais les métaux y sont tous assez rares. On n'y rencontre que l'étain, l'urane, le titane, le fer arsénical, le wolfram, le molybdène, rarement l'or et les pyrites, encore ces métaux y sont disséminés et probablement contemporains de la roche qui les renferme. C'est, du reste, un caractère commun à toutes les roches ignées, à l'exception de quelques porphyres, de ne pas contenir de filons, mais d'avoir, en quelque sorte, préparé la voie par leur éruption et d'avoir appelé dans leur voisinage divers dépôts métallifères.

Les premiers épanchements granitiques nous ramènent à l'époque où se formèrent les terrains primitifs, horizon dont nous étions partis, en nous éloignant successivement par les terrains de sédiment, et où nous voici revenus en nous rapprochant graduellement par les roches d'épanchement. On voit que l'on pourrait présenter ces différents groupes comme un cercle non interrompu composé de formations diverses, passant successivement de l'une à l'autre, et présentant, en outre, de nombreux rapports avec celles qui ne les touchent pas immédiatement.

CHAPITRE TRENTE-NEUVIÈME.

CONSIDÉRATIONS SUR LA VIE ORGANIQUE, SUR SON DÉVELOPPEMENT ET SUR LA DISTRIBUTION DES VÉGÉTAUX ET ANIMAUX; RÉSUMÉ DES PRINCIPALES NOTIONS ÉMISES DANS LES CHAPITRES PRÉCÉDENTS.

La nécessité de lier et de rénnir en un seul faisceau les principaux faits relatifs à la théorie de la terre, a dû se faire sentir déjà plusieurs fois. L'esprit cherche toujours à rattacher les notions qu'il acquiert, à les comparer; et la mémoire, qui soutient le vaste édifice de nos connaissances, conserve alors des rapprochements et des aperçus qui lui eussent échappé sans le lien qui les attache. C'est pour cette raison que nous avons réuni en un seul chapitre, ces considérations sur la vie organique, et que nous avons essayé de comparer les différents âges de la terre aux époques correspondantes de l'apparition des êtres vivants qui ont peuplé sa surface. C'est donc une étude chronologique que nous allons entreprendre, en cherchant notre point de départ, avant la création des plantes et des animaux.

Dieu seul connaît l'origine des mondes et de leurs mouvements séculaires, et nous ignorerons toujours le mode de leur formation primitive. Que notre système planétaire soit dû à la condensation de l'atmosphère solaire; que le soleil lui-même soit un des centres d'attraction établi par la Divinité dans une immense nébuleuse; que toute autre cause enfin ait donné naissance à notre imperceptible planète, malgré son peu d'importance quand on la compare à l'univers, la terre existe, et a présenté depuis sa création de continuel changements.

Son premier caractère est sa forme sphéroïdale et son aplatissement sur les pôles, qui coïncide si parfaitement avec la figure indiquée par le calcul, soit qu'on le base sur les lois de l'hydrostatique, ou sur l'action des

perturbations lunaires. Cette forme, que des mesures directes ont confirmée, prouve de la manière la plus évidente que la terre n'a pas toujours été solide, et que la fluidité a été son état primitif.

Toutes les observations nous autorisent à croire que cet état liquide que l'eau ou le feu ont pu seuls produire, était dû à cette dernière cause, et qu'une chaleur des plus intenses, maintenant masquée par une écorce refroidie, existe encore à une petite distance de la surface. Examinons alors les premiers effets de son refroidissement.

Dans son état actuel, le globe est entouré en partie de liquide, en totalité de fluides aériiformes. L'eau forme à sa surface une couche interrompue par les îles et les continents, l'atmosphère une enveloppe entière, s'appuyant à la fois sur la terre et sur l'eau. Dans son état primitif, l'incandescence d'une masse aussi considérable a dû reléguer dans son atmosphère, non-seulement tous les liquides qui séjournent maintenant à sa surface, mais tous les corps susceptibles de se réduire en vapeur sous une certaine pression et sous une forte chaleur. Tel a dû être l'état originaire du globe, une masse fondue par la chaleur et enveloppée d'une immense atmosphère, qu'une température excessive empêchait de se condenser ou de se combiner avec la masse terrestre.

Un corps aussi chaud, parcourant, dans ses révolutions autour du soleil, des régions de l'espace dont la température est de — 50 à — 60 degrés, dut bientôt rayonner, et la chaleur, qui cherche toujours à se mettre en équilibre, s'élançait en nombreux et conti-

nuels rayons de la terre fondue dans l'espace glacé. Le refroidissement fut rapide, et l'air, composé d'azote, d'oxygène et de vapeur d'eau, contenant probablement beaucoup d'autres matières en plus faible proportion, put agir sur la masse du globe. Il s'opéra sans doute une vive incandescence due à la combinaison de l'oxygène avec des métaux natifs et très-oxidables, et tout doit nous faire penser que l'azote devint de plus en plus abondant à mesure que l'oxygène entraînait dans de nouvelles combinaisons. Nous devons donc supposer que la composition de l'atmosphère était différente de celle d'aujourd'hui, que l'oxygène était dominant, et que l'acide carbonique n'existait pas. Il est facile de se représenter l'intensité d'action chimique que pouvait exercer cette grande quantité d'oxygène sur une masse métallique d'une si grande étendue. Cette action fut prompte, et la croûte oxidée qui en résulta, s'opposant à une libre communication de la chaleur du dedans au dehors, permit l'apparition de nouveaux phénomènes. L'attraction planétaire, qui agissait à la fois sur l'atmosphère et sur le globe en fusion, occasionnait des marées terrestres et aériennes. La croûte solidifiée resta longtemps flexible; elle fut souvent brisée par les grandes marées ou par l'attraction réunie du soleil et de la lune. La vapeur d'eau, qui jusque-là était restée mélangée aux gaz qui composaient l'atmosphère, se précipita peu à peu sur le sol, dont un refroidissement inégal ou des mouvements intérieurs avaient déjà détruit l'horizontalité primitive. Les premiers bassins offraient une ébullition continuelle, et si l'on fait attention que l'atmosphère était alors plus étendue qu'aujourd'hui, on verra que la vapeur d'eau se produisait à une température qui dépassait de beaucoup 100 degrés. Dès lors commença une nouvelle action à la fois chimique et mécanique; ce fut l'absorption de l'eau par les couches solidifiées, absorption qui doit se continuer encore de nos jours, et s'opérer comme celle de l'oxygène, par cimentation lente, et insensible pour nous qui n'habitons la terre que quelques instants.

L'eau atmosphérique, répandue avec profusion et continuité sur une terre encore très-chaude et sur des roches qui étaient à peine

solidifiées, se chargea de nombreux oxides et particulièrement de potasse et de soude; car le *potassium* et le *sodium* appartiennent aux métaux les plus légers, et ils devaient alors occuper la partie supérieure de la masse fondue qui s'oxidait. La présence de ces oxides combinés à la silice qui se formait aussi en abondance, leur fréquence dans une foule de substances minérales, et l'absence totale du carbone libre ou combiné dans les premières roches qui furent créées, nous font présumer avec beaucoup de vraisemblance que l'acide carbonique n'existait pas encore, et que ces alcalis se trouvaient dans les eaux à l'état caustique. Nul doute que cette lessive bouillante n'ait eu une action très-puissante sur la croûte extérieure du globe, et qu'elle n'ait beaucoup contribué à former ces roches presque entièrement composées de silicates et notamment de feldspath, à base de soude ou de potasse, qui constituent la majeure partie des terrains auxquels on donne le titre de *primaires* ou *originaux*.

A cette époque commença l'action des deux forces que nous avons étudiées, celles qui agissent à l'extérieur et celles qui occasionnent les phénomènes intérieurs. L'action des premières eaux et de la chaleur centrale qui les rendait toutes thermales, a formé les roches *primaires*, à structure feuilletée par la disposition des paillettes de mica, ou contournées et plissées par les marées terrestres ou les premiers soulèvements de la mince écorce de la terre.

Les plus anciennes de ces roches, dures et cristallines, annoncent plutôt l'action du feu que celle de l'eau, tandis que les plus récentes, plus tendres et moins cristallisées, montrent déjà les indices d'une moindre chaleur et d'un liquide plus abondant.

Les gneiss, les micaschistes et les schistes argileux composent cette série de roches primitives qui furent souvent fracturées, et au milieu desquelles vinrent s'injecter des granites, des diorites, des roches talqueuses ou serpentineuses, qui se confondirent avec elles, se pénétrèrent mutuellement ou s'épanchèrent par-dessus. Pendant leur refroidissement, quelques éléments se réunirent, des substances pierreuses ou métalliques restèrent disséminées au milieu de leur pâte cristalline.

L'absence de toute espèce de débris d'êtres vivants dans ces terrains primaires, ou du moins dans les plus anciens, la température élevée qui devait régner à cette époque, et qui probablement était assez forte pour détruire les tissus organiques, sont deux raisons qui doivent nous indiquer que la vie n'a paru sur la terre qu'à la fin de cette période géologique.

Là commence pour nous un des grands mystères de la nature : comment se sont développés ces êtres nombreux qui ont ensuite parcouru toutes les phases de l'organisation ? les créations, d'abord très-simples, se sont-elles successivement compliquées ? toutes les races ont-elles paru à la fois ? et quelles ont été enfin les circonstances qui ont accompagné l'apparition de tous ces êtres vivants, de forme et d'aspect si différents ? A toutes ces questions, nous ne pouvons qu'opposer la toute-puissance de Dieu et admirer la multitude et la perfection des moyens d'existence qu'il a donnés à tous les êtres.

Nos observations nous permettent cependant de remarquer que les êtres organiques se sont succédé lentement à travers de petites actions locales qui ont pu les détruire en partie, mais qui, vraisemblablement, n'ont pas anéanti leur race, ou du moins ne l'ont détruite que parce que déjà elle était sur le point de disparaître. Il y a dans la série des êtres, comme dans celles des roches qui contiennent leurs débris, une graduation de passages qui sont rarement interrompus, et la plupart des lois que les zoologues et les botanistes ont cru reconnaître dans l'apparition successive des corps organisés, sont sujettes à plusieurs exceptions et peuvent d'ailleurs être anéanties par une seule découverte bien constatée. Nous avons encore si peu de données sur les fossiles, des localités si restreintes ont été étudiées, il nous manque tant de documents sur des contrées éloignées dont nous ne connaissons pas seulement les êtres vivants, qu'il faut se tenir constamment en garde contre les généralisations qui tendent à soutenir un système. Il ne faut considérer les lois ou les règles que l'on donne pour *positives* que comme *provisoires* ou comme moyen de liaison pour nos idées, en attendant que des découvertes ultérieures viennent les ren-

verser ou leur donner la sanction du temps et de l'expérience.

M. Boué est le seul géologue qui se soit clairement expliqué au sujet des créations organiques. Ses idées sur ce sujet sont très-remarquables, et entrent tout à fait dans notre manière de voir.

D'après ce savant géologue, « les forces » créatrices de la nature auraient été les » mêmes à toutes époques, et sont encore » telles qu'elles étaient avant l'apparition de » l'homme sur la terre ; mais pour s'exercer » avec plus ou moins d'énergie, elles exigent » telles ou telles circonstances accessoires, » comme, par exemple, certains milieux » ambiants, certaines quantités de gaz divers, » certaines intensités et activités du fluide » électro-magnétique, de la lumière, etc. Or, » d'après ces idées, toutes les classes de vé- » gétaux et d'animaux, y compris l'homme, » auraient été créés dès les premiers temps » géologiques, si la nature ou l'organisation » particulière à chacune d'elles le leur avait » permis ; mais les circonstances accessoires » étant telles, que la vie d'une ou plusieurs » de ces classes devenait impossible, il en est » résulté que toutes n'ont pas pu paraître en » même temps, que quelques-unes n'ont pu » se créer qu'à certaines époques, et que cel- » les qui ont pu se former les premières n'ont » joui de cet avantage qu'en conséquence de » modifications particulières apportées à leur » organisation actuelle. Il fallait avant tout » s'adapter aux milieux ambiants.

Actuellement, ces derniers sont tels, que » les créations sont restreintes aux derniers » échelons des êtres, savoir : à ceux qui sont » intermédiaires entre les règnes végétal et » animal, à certains genres d'infusoires et » peut-être même de vers intestinaux.

Dans toutes les créations, le philosophe » aperçoit certains plans généraux peu nom- » breux et d'après lesquels la nature a tra- » vaillé, comme à son ordinaire, d'une ma- » nière uniforme, simple et plus ou moins » symétrique. De là sont nées ces similitu- » tudes entre les formes des classes et » beaucoup de genres de différentes classes » d'êtres. Tout le monde est d'accord là- » dessus, et le dissentiment n'a lieu que pour » l'extension plus ou moins grande que tel

ou tel savant veut donner au développement de cette idée. Or, ces plans généraux ou ces modes de manifestation des forces créatrices ont dû nécessairement et doivent encore s'adapter aux circonstances dans lesquelles se trouve le globe qui doit porter et nourrir ces êtres, soit du règne végétal, soit du règne animal.

» Enfin, considérant même cette question sous le point de vue de la métaphysique religieuse, il me parait, dit M. Boué, qu'une bien plus grande étendue est accordée aux puissances naturelles, en leur concédant une faculté créatrice illimitée pour le temps, mais seulement modifiée par les circonstances accessoires, que de fixer des bornes à telles ou telles époques géologiques. Relativement à notre intelligence bornée, l'éternité devient le partage du pouvoir créateur, comme cela est reconnu pour toutes les grandes lois naturelles et astronomiques¹.

On ne peut donc pas supposer que le développement des êtres organisés ait eu lieu successivement et en séries superposées, en allant du simple au composé, car nous allons voir les plantes et les animaux paraître à la même époque, et, parmi ces derniers, des classes entières, différentes par leur organisation, se développer pendant la même période.

Nous ignorons quels furent les premiers êtres qui ont paru sur la terre; c'étaient peut-être des animaux au corps mou et gélatineux, comme plusieurs de nos zoophytes actuels; les plantes étaient peut-être molles et facilement décomposables, sans formes bien déterminées, et dès lors ces matières ont dû se décomposer et disparaître immédiatement après leur mort; peut-être aussi nous trompons-nous dans cette conjecture, et des êtres aussi mous anraient été détruits par la chaleur des eaux. Il est très-probable que c'est sous une température peu différente de 80 à 90 degrés, peut-être même au-dessus, que les premiers êtres organisés ont vécu. De nos jours, nous voyons des conferves végéter avec vigueur dans des eaux thermales très-chaudes; dans les plaines de l'Orénoque, des plantes

herbacées, à tiges très-basses, telles que des *sesuvium*, des *goniphrena*, des *thalinum*, etc., à demi enterrées dans le sable, supportent une chaleur de 32 degrés. Dans les plaines de Jorullo, au Mexique, M. de Humboldt a vu croître des plantes dans du sable noir qui fit monter son thermomètre à 60 degrés pendant le jour².

C'est dans les schistes argileux et dans les grauwackes qui les recouvrent, que l'on rencontre les plus anciens débris des êtres organisés, et ce ne sont pas, comme on pourrait le penser, les êtres les plus simples et les moins compliqués : plusieurs classes s'y montrent à la fois sans qu'on puisse dire quelle est celle qui a précédé les autres; on ignore même encore si les plantes ont existé avant les animaux sur la terre, et quel est celui des deux règnes, qui commence la série organique.

Les êtres vivants se sont d'abord développés dans l'eau; mais quand l'eau a été suffisamment refroidie pour entretenir la vie des espèces qui s'y trouvaient rassemblées, des terres étaient déjà émergées, des végétaux s'en étaient emparés, et leurs débris vinrent bientôt se confondre et se déposer avec les sables et les graviers que les premières pluies entraînaient.

Les restes organiques les plus anciens appartiennent au genre *producta*, espèce de mollusque, puis viennent les *trilobites*, les *orthocératites* et les *térébratules*. En même temps, des végétaux ont laissé leurs empreintes; ce sont des *fucoïdes*, ou plantes aquatiques, des *calamites*, genre de la famille des *équisétacées*, et plusieurs *fougères*, telles que des *sphenopteris*, *cyclopteris*, *pecopteris* et *sigillaria*; les *tycopodiacées* y sont aussi représentées par un *lepidodendron* et un *stigmaria*. Outre ces coquilles, ces crustacés et ces végétaux, on rencontre bientôt différents zoophytes, un grand nombre de mollusques de genres différents, divers *radiaires*, des *serpules* et des traces de la présence des poissons.

Ainsi, voilà des plantes et des animaux très-différents, à organisation très-compliquée, qui se montrent en même temps, qui apparaissent tous ensemble dès l'origine des

¹ Boué, *Guide du Géologue voyageur*, t. II, p. 243.

² Humboldt, *Géographie des Plantes*, p. 83.

dépôts de sédiment, et qui nous prouvent que la vie se développait avec rapidité sur notre planète, malgré les agents destructeurs qui entraînèrent déjà, pour en former les grès, les fragments qu'ils arrachaient aux roches existantes.

Nous ne retrouvons maintenant vivante aucune des nombreuses espèces contenues dans ces anciens dépôts; mais plusieurs genres ont traversé toute la série des terrains de sédiment et existent encore dans différentes parties du globe. Telles sont, par exemple, les *térébratules*.

La force organique avait alors une puissance extrême, ou, ce qui revient au même, les circonstances accessoires qui la développaient étaient tellement favorables que, pour ainsi dire au même instant, la vie se montra sous plusieurs formes entièrement différentes.

Quelques-uns de ces êtres vivants atteignirent d'énormes dimensions; ainsi, on a trouvé des *orthocératiles*, espèce de coquille cloisonnée, qui avaient plus d'un mètre de longueur et qui, selon toute apparence, nageaient en emportant cette lourde enveloppe qu'un homme peut à peine soulever.

Il est difficile aussi de se faire une idée de la prodigieuse multiplication de quelques-uns d'entre eux. Quand des causes locales ont fait périr de mort violente tous ceux de ces animaux qui existaient à la fois dans une localité, on en trouve des millions réunis. C'est ainsi que, dans quelques endroits du pays de Galles, l'*asaphus debuchii* (sorte de trilobite ou de crustacé) est si abondant; que les feuillets des schistes en sont couverts en nombre immense. Un petit *nautilite* forme le centre et quelquefois la masse entière des nodules calcaires qui constituent certains dépôts dans les Pyrénées. M. Dufresnoy, calculant le nombre que doit en contenir une couche d'un mètre d'épaisseur sur un myriamètre carré d'étendue, a obtenu le chiffre énorme de vingt-sept mille milliards.

Un petit nombre de genres, mais beaucoup d'espèces qui ont vécu à cette époque reculée, se sont éteints successivement dans les dépôts supérieurs. Les *producta* ont disparu les premiers, tout en arrivant jusqu'à la formation du zechstein; les *spirifer* se sont élevés jusqu'à l'étage du lias, et les *térébratules* sont

parvenues jusqu'à nous, tandis que les *trilobites* ne sont restées que peu de temps sur la terre, et ce sont probablement les premiers animaux dont la race s'est éteinte. Les *crinoides* ou *radiaires*, et plusieurs genres de *madrépores* ont aussi traversé la longue série des créations, pour arriver à notre époque; on remarque même que les genres *astrea* et *caliophyllia* qui existaient déjà, sont encore ceux qui bâtissent aujourd'hui les îles de corail et les rescifs.

Enfin, la présence des poissons, animaux déjà très-complicés dans la série, annonce que la matière organique prélevait déjà à l'apparition des formes qui, plus tard, se sont entièrement développées.

Les débris de plantes sont bien plus rares à cette ancienne époque que ceux des animaux, ce qui peut tenir à différentes causes qui se sont opposées à leur conservation, et surtout à l'abondance des dépôts arénacés, dont les parties détachées et entraînées par les eaux devaient user et détruire les organes mous et délicats des plantes. D'un autre côté, les terres émergées étaient peu étendues et ne formaient sans doute çà et là que quelques îles sur lesquelles la végétation s'était établie, et nous ne savons pas, du reste, si l'atmosphère contenait de l'acide carbonique, et il est très-douteux que les plantes puissent végéter sans l'action de ce corps gazeux. Ce qui le prouve, c'est qu'aussitôt que les premiers calcaires se furent déposés, sous forme de grandes lentilles, dans la formation de la grauwacke, de la houille ou plutôt de l'anthracite se montra dans la partie supérieure du dépôt, ce qui provenait certainement d'un mouvement rapide de cette nouvelle végétation.

À l'époque à laquelle nous sommes arrivés, les premières dislocations du sol s'étaient déjà opérées; de grandes fractures avaient eu lieu en Europe, et c'est peut-être par les fentes produites que sortirent les sources abondantes et très-chargées de carbonate de chaux qui couvrirent la grauwacke d'un vaste dépôt calcaire et commencèrent la série carbonifère. Ce sont, de tous les calcaires, ceux qui ont atteint le plus grand degré de puissance, ceux qui contiennent le plus de bitume et dont la pesanteur spécifique est le plus considérable.

Ces calcaires noirs, qui précèdent le dépôt de la bouille, renferment une grande quantité de débris d'animaux qui sont à peu près les mêmes que dans la grauwacke; quelques espèces ont échangé; quelques genres nouveaux, peu nombreux en espèces, se sont introduits; mais les radiaires, et notamment les *encrines*, se sont développés, car leurs débris composent quelquefois seuls des couches entières dans cette formation.

Le phénomène le plus remarquable de cette époque fut, sans contredit, l'apparition de cette immense quantité de calcaires, roches qui s'étaient déjà montrées dans la formation précédente, mais en petite quantité et presque accidentellement, tandis qu'ici on voit paraître des assises extrêmement épaisses et qui sont aussi très-compactes. L'énorme quantité d'animaux dont les dépouilles s'y trouvent conservées, et peut-être aussi des zoophytes mous et gélatineux, analogues à nos *méduses actuelles*, ont sans doute contribué à lui donner l'odeur et la couleur du bitume qui le distinguent des dépôts postérieurs. Nous devons supposer, si nous admettons que les calcaires ont été amenés par des sources thermales, que le peu d'épaisseur de la croûte terrestre rendait très-chaudes et très-abondantes, que ces sources étaient accompagnées de violents dégagements d'acide carbonique; la chaux était d'ailleurs à l'état de bicarbonate, que la température élevée décomposait bientôt, et son excès d'acide se répandait dans l'air à mesure que le sous-carbonate se déposait.

L'atmosphère était alors bien différente de ce qu'elle était lors de la formation des terrains primaires. Une grande quantité d'oxygène avait été absorbée; l'azote, par conséquent, devenu prépondérant, rendait la vie animale moins active, et l'acide carbonique, en s'y mêlant en grande quantité, s'opposait certainement au développement de nouvelles espèces, en arrêtant l'essor d'organisation qui avait pris naissance dans les eaux chaudes qui formaient les mers primitives.

Notre planète était assez refroidie pour que les saisons pussent marquer leur passage. L'évaporation et les pluies devaient se trouver en rapport et avoir atteint une certaine limite qui permettait alors aux plantes de se déve-

lopper, tandis qu'auparavant la fréquence des averse, ou plutôt leur force d'érosion, capable d'avoir produit les immenses dépôts de schistes et de grauwackes, devait nécessairement s'opposer à la multiplication des plantes. Les mêmes causes de destruction n'existaient pas alors pour des animaux à branchies ou munis de tout autre organe respiratoire, qui vivaient en nombre immense dans le fond des mers, abrités dans les golfes ou les bas-fonds.

Avant la fin du dépôt calcaire, les végétaux commençaient à paraître, et les amas de matières charbonneuses, qui s'étaient déjà montrés au sommet de la grauwacke, se reproduisirent aussi à la partie supérieure du calcaire qui précéda la houille. Ce ne fut, toutefois, qu'après ces premiers essais, que la végétation parut dans toute sa force, et, pour la première fois, les nouveaux continents se couvrirent de verdure et d'immenses forêts. Peut-être à cette époque de la première apparition des calcaires, les sources thermales furent-elles assez puissantes et assez chaudes pour détruire quelques-uns des êtres organisés qu'elles nourrissaient¹ et pour donner à l'atmosphère une température assez élevée pour arrêter les pluies et suspendre par conséquent les dépôts arénacés. On ne trouve, en effet, aucune couche de grès dans la grande assise de calcaire; cette dernière roche vient interrompre les sédiments de grauwacke que l'on voit revenir au-dessus avec le titre et les caractères de grès houillers.

Si réellement cet effet a eu lieu (et il a pu se reproduire à différentes époques), toutes les conditions se trouvaient réunies pour la plus active végétation. Des eaux chaudes entouraient les îles et les continents; de la vapeur enveloppait les végétaux, et l'acide carbonique, abondamment répandu, pénétrait dans leurs nombreuses cellules et y déposait son carbone. Les grandes averse, qui ont si souvent raviné la terre et qui ont contribué à la formation

¹ N'aurait-on pas un indice de cette température, ou peut-être simplement de l'action chimique des eaux, dans les portions de calcaire de cette époque, qui ne contiennent pas un seul débris de corps organisé? Ces parties de calcaire indiqueraient le voisinage des sources où la température était suffisante pour détruire les animaux.

des grès, n'existaient pas. Les plantes ont pu se développer avec une grande facilité, et c'est seulement après le dépôt du calcaire et l'abaissement de température, que des pluies, devenant, comme auparavant, un des phénomènes habituels de notre planète, permirent la création de nouveaux grès avant que l'eau ait pu déverser le sol couvert d'une couche épaisse de végétation, et former de nouveaux fleuves pour en charrier les débris. Ce fut alors que se formèrent ces anciens deltas qui constituent maintenant nos bouillères, et dont nous avons essayé de décrire le mode d'origine.

Cette période géologique, extrêmement importante, est circonscrite par l'immense développement des végétaux et par un abaissement marqué dans la vie animale. Cette dernière observation est du reste une conséquence de l'autre; car, ce qui favorise la végétation nuit à l'existence des animaux, et la nature nous offre ainsi une série d'oscillations dans les degrés d'intensité de la vie végétale et de la vie animale, comme si elle avait essayé plusieurs fois avant d'atteindre l'état d'équilibre qui caractérise notre époque.

Les plantes dont nous trouvons les débris dans les bouillères, et qui sont certainement celles qui ont produit la bouille, sont à peu près les mêmes que celles qui existaient déjà dans les terrains inférieurs. Ce sont du moins les mêmes genres, mais dont les espèces deviennent extrêmement nombreuses. La flore de cette époque a été étudiée avec beaucoup de soin par M. Adolphe Brongniart, qui a déjà décrit et figuré une grande partie de ses espèces¹.

Les équisétacées offrent deux genres, dont l'un, *calamites*, est abondamment répandu. Les fougères dominent tout à fait dans cette flore. Les genres *sphenopteris*, *neuropteris*, *pecopteris*, *sigillaria* sont les plus nombreux en espèces. Le genre *sphenophyllum* représente les marsiliacées; les lycopodiacées qui s'étaient déjà montrées en petit nombre dans la grauwacke, deviennent ici très-abondantes, et au genre *lepidodendron*, qui est le plus nombreux, se joignent des lycopodites, des *cardio-carpon*, des *stigmaries* et deux *selaginées*; enfin, on trouve aussi dans la flore du terrain

bouiller deux *palmyras*, une *cannée*, plusieurs plantes monocotylédones bien caractérisées, et des végétaux de classe incertaine, parmi lesquels les dycotylédones sont certainement représentés; en sorte que dans une seule époque paraissent tout à coup sur le globe les grands types de l'organisation végétale, quoique cependant dans des proportions très-inégaux. Ainsi, les fougères forment plus de la moitié de cette flore. Les lycopodiacées viennent après les fougères et en forment un quart. Le reste est composé d'équisétacées, de marsiliacées, de palmiers et d'autres végétaux, dont les familles sont incertaines. Ce n'est plus que dans quelques îles situées dans les contrées les plus chaudes du globe que nous retrouvons encore une grande quantité de fougères, proportionnellement aux autres végétaux, encore ne sont-elles pas dans la proportion de la flore des bouillères. A Tristau-d'Aeunha, elles sont aux autres plantes comme 2 : 5; à Sainte-Hélène, comme 1 : 2; à Otaïti, comme 1 : 4; en France, comme 1 : 60. La végétation des bouilles est donc toute tropicale, et remarquable surtout par son extrême vigueur et son uniformité sur toute la terre.

Cette flore ne se rapproche de la flore générale du globe que par quelques genres de fougères arborescentes. Tous les autres genres s'en éloignent beaucoup; ainsi, nous n'avons plus ces immenses lycopodes dont les grandes tiges se ressemblaient à rien de ce qui existe. Nous ne pouvons nous faire une idée de ces grands enlarmes qui remplaçaient nos équisétacées et qui s'élevaient à 50 pieds de hauteur, avec leurs formes bizarres, leurs tiges écailleuses et cet aspect extraordinaire dont la végétation équatoriale ne peut même nous rappeler les formes. Toutes ces grandes fougères, aux frondes élégantes et étagées, enlacées par de nombreux lycopodites, devaient former d'impénétrables forêts, sous lesquelles végétaient encore de plus petites espèces abritées sous leurs larges feuilles.

L'uniformité de cette végétation primitive sur toute la surface du globe est un des faits les plus curieux de l'époque bouillière, et qui paraît aujourd'hui bien constaté. M. Jameson a reconnu l'identité des plantes des bouillères des contrées boréales de l'Amérique avec celles de l'Europe. M. Robert Brown assure que

¹ Hist. des Végétaux fossiles, t. V. livraisons. 1-10.

les fougères des houillères de la Nouvelle-Hollande ne diffèrent que par les espèces de celles du même terrain en Europe. M. Ad. Brongniart est venu confirmer cette assertion par la description de quelques débris, tant de l'Australie que des Indes¹, en sorte qu'une même flore, mais bien moins nombreuse que celle d'aujourd'hui, occupait toute la surface du globe, sans offrir ces grands traits distinctifs que présentent maintenant les flores séparées de chaque zone ou de chaque continent. Une température sensiblement égale régnait alors sur toute la terre; car on ne peut guère supposer que des plantes de même aspect, de famille et de genre semblables, d'espèces presque toujours analogues ou identiques, aient pu vivre sous des conditions différentes de température, de lumière ou d'humidité. En se basant sur ces considérations et sur la présence des houilles au voisinage du pôle nord, M. Alphonse de Candolle demande comment les mêmes végétaux ont pu vivre sous la lumière intense des régions équinoxiales et pendant les longues nuits polaires. « Que l'on réfléchisse, dit-il, à l'action importante de la lumière dans les fonctions respiratoires et exhalantes des végétaux, et il ne sera guère possible de supposer que des plantes qui ne perdent pas leurs feuilles, et qui ouvrent leurs stomates, par l'effet du soleil, douze heures sur vingt-quatre, aient pu supporter une obscurité de quelques mois.

» Ou les plantes polaires de l'ancien monde étaient organisées autrement que nos plantes équatoriales, ou elles étaient soumises à des conditions physiques analogues. Sans l'une de ces deux alternatives, elles n'auraient pas vécu. Il leur serait arrivé ce qui arrive aujourd'hui quand on expose au froid, à l'obscurité prolongée ou à une humidité excessive, une plante de nos pays chauds; elle meurt sans se reproduire. Mais la première alternative est fautive, car l'observation a démontré l'analogie des anciennes espèces avec nos plantes équatoriales. Reste donc la seconde alternative, qu'elles étaient soumises à des conditions analogues de chaleur, lumière, etc. Ou ne conteste pas l'analogie de chaleur

des anciennes régions polaires avec nos régions équatoriales, parce que le vulgaire lui-même admet la nécessité d'une certaine température pour des plantes analogues; mais il ne faut pas faire le même raisonnement pour la lumière, qui importe autant aux végétaux que la température.

« Je laisse aux physiciens, continue M. de Candolle, le soin de faire concorder avec les lois de notre sphère, le phénomène, qui me paraît devoir être admis, d'une lumière plus égale jetée autrefois sur les régions polaires. Je ne tiens nullement à l'hypothèse d'un changement d'inclinaison de l'axe terrestre, mais seulement au fait d'une lumière autrement répartie. Peut-être trouvera-t-on un jour que le magnétisme terrestre et une haute température du globe ont pu produire jadis une lumière inconnue maintenant; peut-être découvrira-t-on que les aurores boréales ont été autrefois beaucoup plus fréquentes et plus intenses que dans notre époque. Tout cela est hypothèse pour le moment. Ce qui me paraît toujours un fait, c'est que les végétaux fossiles de la baie de Baffin étaient éclairés autrement que ceux qui vivent de nos jours dans cette région².

Cette objection du manque de lumière pour l'ancienne végétation des pôles est extrêmement grave; mais nous devons croire cependant que l'écliptique n'a pas été déplacé. Nous ne connaissons pas les conditions d'existence que pouvaient exiger les plantes de ces contrées, mais en remontant aux causes actuelles, nous trouverons encore l'explication de ces phénomènes. Beaucoup de plantes vivent dans des lieux très-ombragés, et nos forêts nourrissent un certain nombre de végétaux que le soleil n'atteint jamais. La même chose devait avoir lieu à l'époque de la végétation des houilles, et plusieurs espèces abritées sous les larges feuilles et les cimes impénétrables des grands végétaux, devaient parcourir toutes les phases de leur existence sans être éclairées par un seul des rayons du soleil. Nous voyons aujourd'hui les fougères présenter encore ce caractère. Nous les voyons tapisser des grottes obscures, descendre jusqu'au fond des puits et végéter sans soleil, quelquefois

¹ *Résumé des Sciences géologiques*, par M. Boué; 1854, p. 476.

² *Bibl. univ.*; avril 1855.

même sous l'influence d'une faible clarté, quoique pourtant elles conservent la teinte verte et intense de leurs feuilles, et sans qu'elles cessent de décomposer l'acide carbonique dans leurs tissus. Cette observation n'a pas échappé non plus à M. Aug. de Candolle¹. Il a vu des fougères rester vertes dans des caves où les autres plantes étaient toutes étiolées. Nous ne savons pas même si la haute température qui régnait dans les eaux, à l'époque du dépôt des houilles, n'occasionnait pas, à une certaine élévation dans l'atmosphère, une zone de condensation où les vapeurs formaient un voile nuageux, impénétrable aux rayons du soleil. Ce sont peut-être ces conditions d'existence, nuisibles aux autres végétaux, favorables au contraire à l'organisation des fougères, qui ont permis à cette élégante famille de plantes de prendre une telle extension aux dépens des classes qui ont trouvé plus tard leurs conditions d'existence.

Pendant la brillante végétation des plantes houillères, les animaux étaient presque effacés des lieux où elles se développaient; quelques coquilles marines ou d'eau douce paraissent de temps en temps, comme pour indiquer que les matières charbonneuses se réunissaient dans des golfes ou des grands lacs d'eau douce ou saumâtre.

À la fin de la période houillère semble correspondre une nouvelle dislocation des couches de sédiment d'une partie de l'Europe, et en même temps l'apparition de roches ignées, de *porphyres divers*, ou de roches *trapéennes* (*toadstone* et *schistone* des géologues anglais). Ces roches se sont épanchées dans la formation des houilles qu'elles ont traversées en tous sens, altérant plus ou moins les différentes parties dont elle se compose, et se liant même au grès houiller et surtout au grès rouge, qui paraît, dans certains cas, n'être qu'une modification du porphyre, tandis que d'autres fois on croirait que ces roches porphyriques sont dues à une action postérieure exercée sur les roches arénacées.

Le dépôt du grès rouge, qui a succédé aux houilles, est très-remarquable par sa puissance, qui atteint jusqu'à deux cents mètres;

par sa couleur généralement rouge, que M. d'Omalus attribue à la suroxydation du fer par une longue agitation, et par la présence de blocs assez volumineux, qui composent ses assises inférieures. Ce dernier caractère annonce un mouvement de transport assez rapide, lié peut-être à l'apparition de nombreux filons de porphyre qui auront fracturé le sol en une multitude de points, et qui, en changeant les niveaux, auront déplacé les eaux en leur imprimant une certaine vitesse. L'absence des débris organiques, à l'exception de quelques restes de plantes brisées, prouve encore un dépôt formé dans un liquide agité, et assez promptement pour que les êtres vivants n'aient pu s'y développer.

C'est pendant la création de ces anciennes couches du globe, que des injections, ou plutôt des eaux thermales chargées de différentes substances, ont traversé, au moyen des fentes formées, tous ces dépôts antérieurs, et ont laissé des gîtes métallifères dans plusieurs roches cristallines ou sédimentées.

Quand le grès rouge eut cessé de se déposer, il paraît que de nouvelles sources produisirent encore une certaine quantité de calcaire ou du moins la formation du *zechstein* vint recouvrir les grès dans plusieurs localités. Pendant cette période, la végétation semble s'être considérablement ralentie. Il existait des fucoides dans les eaux; il y avait aussi sur les continents quelques-unes des plantes qui venaient de former la houille, et il paraît même qu'une nouvelle famille de végétaux, les *conifères*, commençait à se montrer, si toutefois elle n'avait pas déjà pris un certain développement dans la période houillère, comme l'a presque prouvé M. Witham.

Plusieurs des mollusques que l'on a rencontrés au-dessous du terrain houiller, se trouvent encore identiques ou analogues dans ce second dépôt du calcaire; mais on voit la vie animale revêtir des formes tout à fait singulières. Les poissons, dont on n'avait trouvé que quelques débris dans les formations précédentes, se montrent ici avec plus d'abondance, et diffèrent totalement des espèces actuellement vivantes. On voit dans leur organisation une tendance vers les reptiles, et l'un de ces animaux, appartenant au genre *monitor*, a déjà paru à cette époque reculée.

¹ Dictionnaire des Sciences naturelles, art. Géographie des plantes, p. 371.

L'atmosphère, débarrassée, par la puissante végétation des houillères, de l'excès d'acide carbonique qu'elle contenait, permettait le développement de ces animaux des classes inférieures; car les reptiles peuvent vivre dans un air encore chargé d'acide carbonique, et les poissons ne meurent pas dans de l'air qui contient seulement dix pour cent d'oxygène. Cette tendance des forces créatrices vers les formes des reptiles auxquels elles prélaient par l'apparition des premiers poissons sauroïdes, fut interrompue en Europe par des relèvements de terrains qui se manifestèrent dans le pays de Nassau, dans quelques parties de la Saxe, au Hartz, etc. Cette dislocation, qui a relevé les couches du zechstein et du grès rouge partout où elles se sont trouvées en contact avec les lignes de soulèvement, a arrêté ou peut-être transporté dans d'autres contrées l'émission des calcaires, et des grès sont venus de nouveau se déposer en puissantes assises. Ce sont les grès des Vosges et les grès bigarrés. Les premiers, que quelques géologues considèrent comme formation distincte, pourraient bien être parallèles au zechstein et avoir été disloqués par le même soulèvement que ces calcaires. Ils passent aux grès bigarrés qui, comme eux, sont sans fossiles, à l'exception des couches supérieures qui contiennent des végétaux. On y retrouve encore des plantes de la formation houillère, quelques lilacées, et des conifères qui deviennent assez fréquents. Il semble même qu'il y ait eu une petite recrudescence de végétation due à l'acide carbonique que le zechstein a répandu dans l'atmosphère, en arrivant, comme tous les calcaires, à l'état de bicarbonate. Ainsi, des houilles, mieux désignées sous le nom de lignites, sont exploitées dans le grès bigarré.

Les calcaires reparaissent caractérisés par une grande quantité d'*encrinure liliformis*. Les sources qui les amenaient ont écharrié une grande quantité de sel gemme et de gypse qui forme des masses dans tous les dépôts de calcaire coquillier. Les *producta* disparaissent, et l'on voit la nature s'essayer encore à de nouvelles formes animales, dont elle avait déjà montré quelques types. Les *belemnites*, les *gryphées*, les *ammonites* perlées, représentées par quelques espèces d'une autre sec-

tion dans les assises précédentes, commencent à paraître dans le calcaire coquillier; les poissons sauroïdes reviennent encore, et l'on voit même deux nouveaux genres de reptiles: les *plesiosaures* et les *ichtyosaures*. Les plantes disparaissent presque entièrement; on rencontre cependant pour la première fois un *mantlia* appartenant à la famille des *cycadées*. Les mêmes phénomènes se reproduisent pendant le dépôt des marnes irisées; mais comme ce calcaire coquillier avait amené de l'acide carbonique, la végétation des houillères se développe de nouveau, et plusieurs couches de houille sont exploitées dans cette formation.

On rapporte généralement à la partie supérieure du grès bigarré qui supporte immédiatement ces derniers calcaires, des empreintes de pattes d'animaux, que l'on a découvertes dans différentes parties de l'Allemagne et de l'Écosse. Elles prouvent clairement qu'il existait déjà à cette époque des animaux assez élevés dans la série. On rapporte ces empreintes à des reptiles amphibies différant cependant des grands sauriens que nous avons déjà cités et se rapprochant davantage des crocodiles et des tortues. On a cru aussi pouvoir les rapporter à des marsupiaux; classe qui paraît en effet avoir précédé toutes les autres dans l'ordre de la création des mammifères, et qui présente de singulières anomalies d'organisation.

Les grès bigarrés, les calcaires coquilliers et les marnes irisées, dont l'ensemble constitue la grande formation précédente, ou le terrain keuprique, se trouvent relevés et disloqués en un grand nombre de lieux; en sorte qu'il faut placer ici, avec MM. de Buch et Elie de Beaumont, l'époque d'un soulèvement qui est encore venu interrompre les créations animales qui avaient lieu en Europe. Ce soulèvement sépare les dépôts précédents de la grande formation jurassique, qui a duré longtemps, qui s'est développée sur une échelle immense, et pendant laquelle toutes les formes organiques qui avaient essayé de se produire auparavant, ont pu acquiescer leur dernier degré d'organisation.

Les périodes précédentes ont été de courte durée relativement à celle-ci. Les forces intérieures, qui agissaient avec intensité, acti-

vaient tous les phénomènes, et les couches de grès, comme les dépôts calcaires, le développement des êtres organisés, comme leur enfouissement, se succédaient sans autre interruption que les divers soulèvements qui marquaient la fin d'une formation et le commencement d'une autre.

Les dépôts jurassiques se composent de différentes couches de sable ou de grès, de calcaire et d'argiles. Ces dernières se sont principalement déposées à l'embouchure des fleuves et marquent leurs deltas. Les calcaires sont remarquables par leur structure oolitique qui domine aussi dans l'oxide de fer que les sources déposaient en même temps. Les sables et les grès sont plus fins et moins durs que ceux qui forment la base de toutes les formations précédentes. L'influence du climat, moins sensible jusque-là, allait bientôt entrer comme un élément puissant dans les causes agissantes; aussi, voit-on ces dépôts et ceux qui leur sont supérieurs confinés dans une certaine zone de la terre, et déjà très-éloignés des pôles, qui, à cette époque, étaient probablement les points les moins sujets aux violentes secousses de l'intérieur.

A en juger par l'épaisseur des couches d'argile, qui forment les anciens deltas de la période jurassique, les fleuves devaient avoir une grande puissance, et par conséquent les pluies devaient être extrêmement fréquentes. L'humidité de l'air, la température moins élevée, l'abondance des eaux, la diminution de la pression atmosphérique, se réunissaient pour offrir un concours de circonstances favorables à la création et à la multiplication de certaines espèces animales, et ce fut, en effet, pendant cette longue période, que les formes les plus singulières parurent à la surface du globe.

On ne peut se faire une idée de la quantité de mollusques et de zoophites dont les dépouilles sont enfouies dans ces terrains. Des couches entières sont formées de leurs débris. Il est bien difficile aussi de se rendre compte de ce nombre immense d'espèces et d'individus appartenant à quelques genres particuliers, tels que les *scyphia*, *aetrea*, *cidaria*, *pentacrinites*, *serpula*, *terebratula*, *griphæa*, *belemnites*, *ammonites*, etc. Ces derniers, analogues aux nautilus actuels, devaient voguer à

la surface de ces anciennes mers, en soutenant leurs volumineuses coquilles aux formes si variées et si singulières. Les *belemnites* ne sont que des os intérieurs, et selon toute apparence, l'animal auquel ont appartenu ces fossiles était semblable à la sèche, ou du moins très-voisin. On peut croire que c'était un céphalopode de l'ordre des acétabulifères, comme la spirule, et formant entre elle et la sèche un genre intermédiaire. Ce qui confirme cette présomption, c'est la découverte, à côté de bélemnites, du sac à encre, analogue à celui de la sèche, et renfermant encore, depuis cette époque reculée, une matière analogue à l'encre de Chine. On ne sait à quel motif attribuer l'entassement de ces bélemnites dans certains endroits; et quand on voit les mêmes espèces présenter des individus de différente grosseur, et tellement serrés, que c'est à peine si le corps mou de l'animal pouvait trouver place entre ces osselets, on est tenté de croire que ces animaux voyageaient en grand nombre et qu'ils ont péri tout à coup d'une mort violente, par quelque commotion souterraine, ou par la présence, dans l'eau, de gaz ou de matières vénéneuses pour eux.

Avant le lias, avaient déjà paru d'énormes poissons se rapprochant des reptiles par leur organisation, par leurs grandes dents coniques et striées, par les sutures plus intimes des os de leurs crânes; mais c'est dans la formation qui nous occupe, que nous les voyons se multiplier et se diviser en genres assez nombreux, dont il nous reste à peine quelques représentants dans nos mers actuelles. Cette tendance vers l'organisation des reptiles ne tarda pas à atteindre sa dernière limite, parce que les circonstances accessoires et les milieux ambiants étaient précisément ceux qui devaient favoriser cette création. Les genres qui s'étaient montrés dans les dépôts précédents, à l'exception du *monitor*, reparurent à cette époque, ainsi que plusieurs autres nouveaux. Les *ichthyosaurus*, *pliosaurus*, *pteroctylus*, *lepidosaurus*, *megalosaurus*, *teleosaurus*, *nothosaurus*, et un grand nombre d'autres sauriens, dont quelques-uns atteignaient 50 pieds de longueur, étaient alors les monstres qui dominaient dans ces mers attéduées et qui habitaient, comme nos crocodiles actuels, la fange des deltas et les

rives des grands fleuves. Les descriptions de ces grands amphibiens ressemblent à des sables et passeraient certainement pour telles, si de nombreux squelettes, trouvés dans quelques calcaires et dans d'énormes assises d'argile, ne prouvaient à l'évidence l'ancienne existence de ces êtres que l'imagination seule n'aurait pu se représenter avec des formes aussi singulières.

Ceux qui devaient dominer à cette époque, étaient les *ichthyosaurus* et surtout le *platyodon*. Ce genre est remarquable par sa tendance à passer aux cétacés, aux poissons, aux ornithorhiques. C'est comme une souche d'où seraient sorties ensuite les formes dominantes du règne animal. L'ensemble du squelette rappelle celui des cétacés, tandis que les vertèbres caudales le ramènent à celui des crocodiles. La tête se rapproche de celle des dauphins, des lézards, des crocodiles et des tortues. L'œil paraît avoir été partagé par un cercle de pièces osseuses, disposées comme les os d'une futaie; ce cercle est analogue à celui de la sclérotique de l'œil des oiseaux et des lézards. L'oreille offrait la conformation de celle des salamandres et des protées. Leurs dents étaient nombreuses et disposées sur une seule rangée, le long du bord des mâchoires. Les vestiges de l'os hyoïde et l'absence de traces des trous branchiaux font présumer que ces animaux respiraient dans l'air comme les reptiles, et non dans l'eau comme les poissons. Le sternum rappelle un peu celui des ornithorhiques. C'était donc un être bien singulier que celui qui joignait à cette structure presque indécise, la mâchoire d'un dauphin, les dents d'un crocodile, la tête d'un lézard, le sternum d'un ornithorhique, les vertèbres d'un poisson et les extrémités d'un cétacé, mais en nombre double. Si nous avions pu connaître entièrement son anatomie, nous aurions sans doute trouvé à établir beaucoup d'autres rapports. Mais quelques autres genres voisins de celui-ci, vont nous offrir de nouvelles analogies et de nouveaux passages.

Le *plesiosaurus*, dit Cuvier, respirait l'air, se rapprochait plus des crocodiles que des *ichthyosaurus*, et dans l'état de vie, si son cou était comme un véritable serpent, son corps différait peu de celui d'un quadrupède ordinaire. La queue surtout était fort courte. On peut croire que les poumons étaient fort éten-

du; peut-être même, à moins qu'il n'ait eu des écailles fort épaisses, changeait-il la couleur de sa peau comme le caméléon et les anolis, selon qu'il faisait des inspirations plus ou moins fortes. Les dents étaient grêles et pointues, inégales et un peu arquées. Le nombre des inférieures s'élevait à 27 de chaque côté. La tête était très-petite; le nombre des vertèbres dépasse celui de tous les autres animaux.

Le genre *ptérodactyle*, plus curieux encore, nous révèle l'existence de reptiles garnis à la fois d'ailes membraneuses au moyen desquelles ils pouvaient voler avec facilité à la manière des chauves-souris. Ces ailes étaient soutenues par un seul doigt très-long, tandis que les trois autres, indépendants et garnis d'ongles, leur permettaient de s'accrocher aux branches ou aux rochers. La tête rapproche beaucoup ces êtres des oiseaux; elle offre comme chez eux, une proéminence pour loger le cerveau et de larges orbites comme dans les oiseaux nocturnes. La mâchoire, déjà allongée en forme de bec, était garnie de dents. Il y avait évidemment passage aux oiseaux, qui peut-être auraient immédiatement succédé à ces êtres transitoires, si leurs poumons eussent pu s'accommoder de l'atmosphère de cette époque. Parmi les différentes espèces de *ptérodactyles*, on en cite une qui avait environ cinq pieds d'envergure.

Les autres genres, auxquels il faut ajouter des crocodiles et divers chéloniens, complétaient cette série d'animaux qui remplaçaient alors nos mammifères et nos oiseaux. Des découvertes ultérieures amèneront, sans aucun doute, à la connaissance de nouvelles espèces, et nous révéleront peut-être des formes que nous ne pouvons soupçonner¹.

¹ On trouve avec les débris de tous ces grands sauriens un grand nombre de leurs excréments qui se sont très-bien conservés. On a rencontré aussi au milieu d'ossements des galets qui avaient été avalés par on de ces animaux; ils étaient contenus dans son estomac et avaient servi à la trituration des aliments. On sait que l'habitude d'avaler des galets s'observe chez quelques reptiles vivants, et notamment chez les crocodiles; c'est une remarque vulgaire à l'égard des oiseaux granivores. Une dent de squelette et quelques portions osseuses très-altérées se trouvaient aussi parmi des galets roulés; ces restes étaient dus sans doute à la dernière proie avalée par l'animal.

Tous ces animaux étaient marins ou terrestres, et probablement l'un et l'autre; ils devaient vivre indistinctement dans les eaux douces ou dans les eaux salées, comme nos crocodiles, mais préférer l'embouement des fleuves; en sorte que la présence de leurs débris annonce la proximité d'un ancien continent. Quelques géologues croient qu'à cette époque il y avait encore peu de différence entre les eaux salées et les eaux douces; que celles-ci étaient plus ou moins saumâtres à cause du peu d'étendue des continents et de l'action des marées, qui remontaient très-loin dans l'intérieur des terres.

Il paraît que dans cette grande période de création animale, les mammifères commencèrent à paraître; car on trouve les débris de plusieurs espèces de didelphes, mais ils sont très-rares. Les conditions d'existence pour ces animaux n'étaient pas encore arrivées, et ce n'est que dans des couches supérieures que nous les verrons prendre la place des sauriens qui dominaient pendant toute cette période géologique.

Les insectes, dont plusieurs ordres n'étaient déjà montrés à l'époque des houilles, existaient encore lors du dépôt du terrain jurassique; mais leurs restes, qui se conservent difficilement, n'apparaissent que de loin en loin.

La végétation de cette période géologique est très-remarquable par le grand développement qu'acquirent les eucadées et principalement le genre *samia*. Ces plantes forment la moitié de la flore de cette époque, et le nombre des espèces fossiles connues, est déjà plus grand que celui des espèces vivantes. Ces plantes, en se mêlant à quelques fougères, ont formé des houilles dans la période oolitique. On reconnaît aussi des conifères, mais en petit nombre; ce sont des *thuytes* et un *taxites*.

On voit par l'épaisseur des terrains jurassiques et par le grand développement du règne animal, que les soulèvements et les dislocations du sol s'éloignaient de plus en plus, laissant entre eux de plus longues périodes de calme et de tranquillité. Cependant, à la fin de la formation jurassique, de nouvelles rides vinrent déranger l'horizontalité de ces vastes dépôts. Les Cévennes, le mont Pilate, la Côte-d'Or, l'Erzgebirge en Saxe, attestent un déplacement réel dans les couches qui se sont formées à leurs bases.

Alors commença une nouvelle période géologique, qui dut être longue comme la précédente et qui présenta successivement des dépôts de sables et de calcaires que l'on désigne sous le nom de *craie*. Il paraîtrait cependant, d'après M. Élie de Beaumont, qu'elle fut partagée par le soulèvement d'une portion des Alpes, où domine le mont Viso, et que plusieurs autres dislocations parallèles eurent lieu à la même époque.

Les polypiers, les radiaires et les mollusques continuèrent de se montrer en abondance dans la formation de la craie. Quelques genres nouveaux et beaucoup d'espèces paraissent pour la première fois; mais aussi c'est dans cette formation que cessèrent, parmi un certain nombre de genres, les *gryphées*, les *ammonites* et surtout les *bélemnites*; on les voit encore dans la craie, mais non au-dessus.

Les grands reptiles de l'époque précédente disparurent ou devinrent très-rares. On trouve cependant dans cette formation un *moosaurus*, des crocodiles et des tortues; on y cite aussi un os d'oiseau qui peut-être a appartenu plutôt à un reptile ailé, voisin du ptérodactyle; on retrouve encore quelques poissons du terrain jurassique et un assez grand nombre de genres appartenant à l'ordre des chondroptérygiens, qui est maintenant le plus nombreux sur la terre. La craie a plus des deux tiers de ses espèces appartenant à des genres qui ont disparu; cependant, dans leur ensemble, les poissons de la craie du nord-ouest de l'Europe rappellent plus fortement le caractère général des poissons tertiaires que celui des espèces du calcaire jurassique. Dans un rapprochement général des formations géologiques, d'après les poissons fossiles, il paraîtrait plus naturel d'associer le système crétacé, y compris le grès vert, avec les terrains tertiaires, que de les ranger dans le groupe des terrains secondaires.

La végétation de cette époque est bien difficile à définir, et la flore n'offre qu'un petit nombre d'espèces: ce sont en général des plantes marines, des *fucoïdes*, des *zosterites* et quelques fougères; une *cycadée*, une *conifère*, qui attestent que des végétaux analogues

* Boiss, *Guide du Géologue voyageur*, t. II, p. 267.

gues vivaient encore sur quelques îles ou quelques continents. On trouve aussi de véritables dycotylédons, sous forme de gros troncs, qui paraissent avoir été charriés de très-loin et dont plusieurs sont percés par des coquillages marins, comme s'ils avaient flotté longtemps.

Les nombreux rognons de silice ou quartz pyromaque que contient la craie, sa texture et son grand état de pureté en quelques endroits, annoncent un précipité chimique de matières calcaires, et par conséquent l'émission d'une grande quantité d'acide carbonique.

Les substances métalliques introduites par injection, par sublimation ou par le passage des eaux minérales, cessent avant la craie; les porphyres noirs ou méaphyres, qui ont soulevé une partie des Alpes, sont encore antérieures à ce dépôt; mais la croûte solide du globe n'était pas à l'abri des secousses qui l'avaient tant de fois ébranlée. Des granites paraissent même l'avoir encore percée à cette époque, ainsi que M. de Beaumont l'a observé dans l'Oisans. Cependant l'épaisseur de l'écorce terrestre augmentait toujours, et par conséquent les forces nécessaires pour la briser devaient être plus puissantes et leurs effets plus grands. L'apparition des Pyrénées, qui relevèrent sur leurs pentes les diverses assises de la craie, prouve la justesse de cette remarque et termine la longue période géologique qui venait de s'écouler.

Dans quelques endroits, la craie se lie intimement aux terrains tertiaires qui lui sont supérieurs, quoique généralement il semble qu'il se soit écoulé un certain intervalle entre la superposition de ces deux espèces de sédiments.

Nous arrivons à une époque où les saisons avaient une grande influence sur la terre; la chaleur centrale était diminuée et presque détruite par l'épaisseur toujours croissante de la croûte solide du globe, en sorte que les formations tertiaires ou les terrains de sédiment supérieurs se trouvent restreints dans des limites que dépassent les formations inférieures; elles se développent peu au delà du 30° degré de latitude.

La terre possédait alors une température au moins égale à celle de la zone torride; des pluies très-abondantes versaient sur les con-

tinents d'énormes quantités d'eau qui se rassemblait en grands fleuves et offrait, sous les zones tempérées, les phénomènes actuels de la zone torride. Ce fut alors seulement que l'on distingua facilement les dépôts d'eau douce de ceux qui se formaient au fond des mers, dans des golfes ou à l'embouchure des fleuves; et l'on voit aujourd'hui avec surprise des conches alternantes dont les unes contiennent des débris d'êtres marins, tandis que les autres sont caractérisées par des restes d'animaux qui habitaient la terre ou les eaux douces.

Le règne organique acquit pendant la période tertiaire des formes tout à fait nouvelles; car un grand nombre des anciens types que nous avons signalés dans les formations antérieures ne reparurent plus dans celles-ci. Ce ne fut cependant que longtemps après le dépôt de la craie, que les animaux se montrèrent en grand nombre. L'acide carbonique, qui probablement existait en grande proportion dans l'atmosphère, s'opposa encore à la vie animale, mais les végétaux parurent et prirent alors un grand accroissement; aussi les premiers dépôts du terrain tertiaire sont des argiles qui contiennent d'énormes quantités de lignites qui tiennent lieu des houilles et qui s'en distinguent par les espèces végétales qui sont presque toutes dycotylédones. La différence de pression et de température dut modifier aussi cette formation d'eau douce, riche en succin ou ambre jaune, qui nous a conservé les formes et les caractères d'une multitude d'insectes extrêmement délicats, enchâssés dans l'intérieur des fragments. Il est très-remarquable qu'après chaque grande précipitation de calcaire il y a eu aussi un dépôt de matières charbonneuses, et immédiatement, prédominance des végétaux sur les animaux.

À ces argiles à lignites succèdent encore quelques calcaires marins, riches en coquilles et en madrépores, et offrant aussi des restes de cétacés. La nature avait déjà montré de la tendance à créer ce type d'animaux pendant la période des grands reptiles; mais c'est ici seulement qu'ils apparaissent bien caractérisés et analogues aux cétacés actuels.

Enfin, pendant la formation du gypse et des diverses assises qui lui sont supérieures,

la terre se couvrit d'animaux bien plus ressemblants aux races actuelles.

On vit paraître les oiseaux et les mammifères, vers lesquels tendaient déjà les forces créatrices quand elles formèrent les plesiosaures et les ptérodactyles, habitants de l'époque jurassique.

Les mammifères les plus anciens appartiennent aux genres *palæotherium*, *anoplotherium*, *anthracotherium*, *lophiodon*, *charopotamus*, *adapis*, *vespertilio*, etc. Tous ces animaux étaient herbivores, comme le prouve la conformation de leurs dents; ce n'est que longtemps après que les carnivores sont devenus communs. Les *palæotherium* ressemblaient aux tapirs; le plus grand était de la taille d'un petit cheval, mais il en différait par ses formes lourdes, par ses jambes grosses et courtes, par ses pieds terminés par trois doigts enveloppés chacun par une corne arrondie; il avait, comme le tapir, la queue courte, effilée, le museau allongé, recourbé comme une sorte de trompe. Les autres espèces étaient plus petites, mais toutes, dit Cuvier, devaient avoir le poil ras.

Les *anoplotherium*, quoique ayant aussi la peau épaisse et appartenant par conséquent à l'ordre des pachydermes, avaient un système dentaire qui les rapprochait des ruminants, particulièrement du chameau, et avaient, comme lui, deux doigts renfermés chacun dans une corne. L'espèce la plus commune était presque aussi forte que le grand *palæotherium*; sa queue, dont la longueur dépassait trois pieds, devait, dit Cuvier, lui donner quelque ressemblance avec la loutre; mais loin d'être, comme elle, un animal carnassier; il vivait, comme le rat d'eau ou l'hippopotame, tantôt sur terre, tantôt dans l'eau, où il allait chercher les plantes et les racines dont il se nourrissait; ses oreilles devaient être courtes, car elles l'auraient gêné sous l'eau si elles avaient été longues.

Le *charopotamus* se rapprochait du cochon. L'*adapis* était voisin du hérisson, mais plus grand. Un *didelphé* se retrouve aussi à cette époque.

Les *lophiodons*, quoique voisins des *palæotherium*, avaient des rapports avec le rhinocéros et l'hippopotame. Mais un fait très-essentiel, et que les naturalistes classi-

ficateurs ont quelquefois un peu dissimulé, c'est la difficulté de distinguer les espèces de ces différents genres, et quelquefois les genres entre eux. Chaque bassin contient ses espèces propres, qui ne diffèrent souvent des autres que par la taille, et il semble qu'à cette époque de la première création des mammifères, la nature commençait encore, comme à l'époque de l'apparition des reptiles, par des formes indécises que les localités ou les milieux ambiants faisaient souvent varier.

Les oiseaux étaient alors beaucoup plus rares que les mammifères, et tous les genres dont on a trouvé des débris existent encore; aussi est-il probable que s'ils ont paru, comme tout semble le prouver, en même temps que les mammifères, ils se sont développés plus tard, et probablement à une époque très-rapprochée des temps actuels. La prédominance et l'extrême sensibilité de leurs organes pulmonaires ne leur ont sans doute pas permis de vivre avant l'entière épuration de l'atmosphère.

Les poissons du terrain tertiaire se rapprochent beaucoup par leurs genres de ceux qui vivent actuellement; mais, à l'exception du petit *salmo arcticus*, qu'on trouve au Groënland, dans des géodes d'argile, M. Agassiz prétend n'avoir pas encore trouvé un seul poisson tertiaire qui ait son identique parfait parmi ceux de nos mers.

Quant aux mollusques, nous avons déjà dit, d'après les savantes recherches de M. Deshayes, que les espèces actuellement vivantes étaient aux espèces fossiles de ces terrains dans les proportions de 3, 18 et 32 pour 100, selon les étages de cette grande formation.

Les végétaux des terrains tertiaires sont souvent peu reconnaissables; ce sont des lignites contenant beaucoup de troncs d'*arborescences*; ce sont des empreintes de feuilles appartenant aux palmiers et un certain nombre de végétaux d'ordres très-différents. On remarque cependant une végétation qui se rapproche plus de celle qui couvre maintenant la zone équatoriale que de celle qui se développe sous nos climats tempérés.

La période tertiaire a dû être excessivement longue, car les forces créatrices avaient perdu de leur intensité et la croûte solide du globe avait encore augmenté de puissance.

M. de Beaumont pense qu'elle a été interrompue par le soulèvement des montagnes de la Corse, des bords de la Limagne d'Auvergne, de la Sardaigne, etc., mouvements qui ont plus ou moins modifié les créations et les dépôts de cette époque. Il est probable cependant que ces dislocations ne sont pas les seules que ce terrain a éprouvées pendant sa longue formation. C'est pendant et après ces sédiments que les traehytes se sont montrés en nappes ou en filons avec leurs puissants conglomérats; c'est immédiatement après que les basaltes se sont épanchés et ont injecté les dykes, et leurs waekes se mêlent quelquefois aux calcaires supérieurs. Les couches tertiaires, redressées sur quelques points du globe, et notamment à la base des Alpes, ne permettent pas de douter qu'une partie de cette grande chaîne de montagnes ait été soulevée à la fin de cette époque. On conçoit facilement qu'un mouvement aussi considérable, et qui peut-être fut instantané, ait dû produire de violents bouleversements dans toute l'Europe; mais si l'on fait attention que des terrains de transport, qui sont horizontaux en quelques points, se trouvent relevés dans d'autres, on sera forcé d'admettre, en suivant toujours la théorie de M. de Beaumont, un second soulèvement d'une autre partie des Alpes, et l'on sait que ce savant considère la prodigieuse élévation du mont Blanc comme l'intersection de deux axes de relèvement, dont la direction n'est pas parallèle. Voilà donc une double cause de grandes dislocations, double cause de transports plus ou moins violents, auxquels on peut attribuer en partie les dépôts alluviaux qui ont succédé à l'époque tertiaire. Tandis que les terrains antérieurs offrent presque tous les caractères de sédiments opérés lentement, mais avec continuité, celui-ci offre les traces évidentes de débâcles, de grands lavages d'eaux courantes dont on parvient assez facilement à reconnaître la direction. Les soulèvements antérieurs n'ont pu produire les mêmes effets, parce que les eaux couvraient alors une grande partie des terres; les grands continents de l'époque actuelle n'étaient pas encore émergés, et d'ailleurs les dislocations précédentes n'avaient pas l'importance de ces dernières. Des bassins d'eau douce existant au pied des

Alpes, comme ceux qui occupent aujourd'hui une partie de leurs vallées, furent violemment déchirés, et leurs flots, entraînés par la pente et chassés par le choc, durent agir avec une énergie que nous pouvons bien difficilement nous représenter.

Il faut rapporter à cette époque les grands terrains d'alluvions, qui contiennent des métaux disséminés, et ceux d'Amérique sont peut-être même encore plus récents. Alors brûlèrent aussi de nombreux volcans dont les laves coulèrent dans les vallées que les cours d'eau venaient de creuser, tandis que des traehytes et des basaltes antérieurs aux débâcles avaient protégé les roches sur lesquelles ils s'étaient épanchés.

Mais les caractères les plus remarquables de cette période géologique sont le transport des blocs erratiques que nous avons déjà étudiés, et l'anéantissement de nouvelles races d'animaux, qui s'étaient développées entre les terrains tertiaires et ces anciennes alluvions.

Ce ne sont guère que des débris de mammifères qui ont été trouvés dans ces terrains de transport. Ils appartiennent principalement aux genres *elephas*, *mastodon*, *hippopotamus*, *rhinocéros*, *tapirus*, *cervus*, *bos*, *auroch*, *megalonix*, *megatherium*, *hyène*, *felis*, *ursus*, *equus*, etc.

On remarque dans cette liste incomplète un mélange d'animaux herbivores et carnivores, tandis que ces derniers étaient à peine représentés à l'époque des gypses ossifères, et l'on conçoit, en effet, que ceux qui devaient être mangés ont dû vivre avant ceux qui devaient en faire leur nourriture. Il serait aussi fort singulier de voir dans des contrées aujourd'hui très-froides ce mélange d'animaux des tropiques avec les espèces des zones tempérées, si l'on n'avait vu depuis longtemps que les climats étaient fortement modifiés par l'action de la chaleur centrale qui se propageait par des fentes ou qui s'exhalait par des eaux thermales.

Les espèces actuelles diffèrent généralement de celles que l'on rencontre fossiles, mais les genres sont les mêmes à quelques exceptions près. Parmi ceux qui sont éteints, le plus remarquable était le *megatherium*, dont les restes ont été trouvés au Brésil et au Paraguay.

Cet animal offrait une structure des plus singulières : ses membres étaient d'une force prodigieuse ; ses pieds antérieurs étaient garnis d'ongles solidement fixés, qui lui permettaient de creuser la terre avec facilité, et sa peau était couverte d'une cuirasse osseuse, qui avait quelquefois plus d'un pouce d'épaisseur. Chacun des os de cet énorme quadrupède, dit M. Buckland ¹, présente des particularités qui, au premier coup d'œil, paraissent s'accorder difficilement, mais qui deviennent intelligibles quand on les considère dans leurs relations mutuelles et par rapport aux fonctions de l'animal.

La grandeur du *megatherium* surpasse plus celle des autres édentés vivants dont il est voisin, que la taille d'aucun autre fossile ne dépasse celle de ses congénères vivants ; avec la tête et les épaules du paresseux, il présente, combinés dans ses jambes et dans ses pieds, les caractères du fourmilier, du tatou et du *chlamyphorus*. Il est même encore plus semblable au tatou et au *chlamyphorus* en raison de son armure osseuse. Ses hanches sont larges de plus de 3 pieds, et son corps est long de 12 pieds et haut de 8 ; ses pieds ont un yard (0^m 914) de longueur, et sont terminés par les ongles les plus gigantesques ; sa queue était probablement revêtue par l'armure commune et beaucoup plus large que la queue d'aucun autre mammifère vivant ou fossile. Ainsi grossièrement taillé et pesamment armé, il ne pouvait ni courir, ni sauter, ni grimper, ni s'enterrer sous le sol ; et, dans tous ses mouvements, il doit nécessairement avoir été fort lent. Mais à quoi eût servi une rapide locomotion à un animal que ses occupations, consistant à déterrer des racines pour s'en nourrir, rendaient surtout stationnaire ? et qu'était-il besoin d'agilité pour fuir ses ennemis, à une créature dont la carcasse gigantesque était enclose dans une cuirasse impénétrable, et qui, d'un seul coup de son pied ou de sa queue, pouvait, en un instant, avoir démolé le cougourd ou le crocodile ? A l'abri dans l'enveloppe de son armure osseuse, quel était l'ennemi qui eût pu livrer

bataille à ce léviathan des Pampas ? et à quelle plus puissante créature pouvons-nous attribuer la cause de l'extirpation de sa race ?

Parmi les autres espèces dont on retrouve les débris dans les anciennes alluvions, une des plus curieuses est l'*elephas primigenius*, plus connu sous le nom de *mammoth*, et que l'on a rencontré à plusieurs reprises au milieu des glaces de la Sibérie, avec des ossements de rhinocéros.

Ce sont principalement les rivières qui descendent vers la mer Glaciale, qui mettent à découvert le plus d'ossements de mammoths, parce que, coulant au milieu de vastes plaines sablonneuses ou limoneuses de la Sibérie, elles s'enfent considérablement à l'époque du dégel et entraînent facilement des portions de leurs rives, qui, dans les déchirements que cause la crue des eaux, emportent ces nombreux ossements. Cependant il faut dire que partout où, dans ces plaines basses, on creuse un puits ou des fondations, on découvre un grand nombre de ces débris ; c'est surtout dans les bassins qu'arrosent la Léna, l'Indigirska, la Kolima, l'Anadir, l'Irtich, l'Angara, la Tongouska, le Khataंगा, l'Ob et le Jenissea, qu'on en trouve le plus.

Plusieurs corps de ces mammoths ont été découverts revêtus encore de leur peau et de leur chair. Isbrandt-Ides cite une tête dont la chair était corrompue, et un pied gelé gros comme le corps d'un homme de moyenne taille ; Jean-Bernard Muller, une défense dont la cavité était remplie d'une matière qui ressemblait à du sang caillé. Ces faits sont d'autant plus croyables, qu'ils rentrent dans la classe de la découverte du rhinocéros des bords du Wilhoui ; mais ce qui leur donne beaucoup de vraisemblance, ce sont deux exemples du plus haut degré d'authenticité. Le premier est la découverte attestée par le voyageur Sarytscheff, d'un éléphant ou mammoth, dont le corps presque entier, et revêtu de sa chair, de sa peau et de longs poils, fut trouvé dans une position verticale sur les bords de l'Ala-seia, rivière qui se jette dans la mer Glaciale, au delà de l'Indigirska.

Le second est la découverte plus importante encore d'un mammoth entier, observé par M. Adams, de l'Académie de Pétersbourg, sur les bords de la mer Glaciale, et dont les

¹ *The Bridgewater treatises on the Power, Wisdom and Goodness of God, as manifested in the creation. Treatise VI, Geology and Mineralogy, etc.*, vol. I, p. 141.

restes ont été déposés au cabinet impérial de cette ville. Suivant la relation qui en a été publiée en octobre 1807, dans le *Journal du Nord*, et en 1813 dans les *Mémoires de l'Académie de Pétersbourg*, il résulte qu'en 1799 un pêcheur tongouse aperçut, près de l'embouchure de la Léna, une masse informe recouverte de glaces; que, l'année suivante, il vit que cette masse était un peu moins engagée dans les glaçons, mais que, pendant l'été de 1801, il reconnut les flancs charnus et les défenses d'un grand animal que la fonte des glaces avait mis en partie à découvert; enfin, en 1804, les chaleurs ayant été plus grandes et les glaces ayant fondu plus vite, cette masse vint échouer sur la côte. Le pêcheur enleva les défenses et les vendit; mais M. Adams, qui voyageait alors dans la Russie Asiatique, instruit de cette découverte, se rendit sur les lieux en 1806. Il y trouva l'animal fort mutilé; quelques Jakoutes l'avaient en grande partie dépecé pour en donner la chair à leurs chiens; les loups et les ours en avaient dévoré le reste; mais, à l'exception d'un pied de devant, le squelette était resté intact. La tête, couverte d'un peu sèche, pouvait donner une idée de celle qui recouvrait le corps, et dont quelques lambeaux se voyaient, ainsi que plusieurs ligaments, sur des parties peu charnues assez bien conservées. M. Adams remarqua, sur une des oreilles restée entière, une touffe de crins; il distingua même la prunelle de l'œil, et, de plus, il retrouva dans le crâne la cervelle desséchée; le cou était garni d'une longue crinière, et quelques portions de peau couvertes de crins noirs et d'une laine rougeâtre, lui prouvèrent que ce mammoth en était entièrement revêtu. En effet, la masse de poils que les ebïens et les autres animaux avaient laissés en dévorant les chairs, pesait plus de 30 livres. Cet animal était mâle; ses défenses, que M. Adams retrouva et racheta à Jakutsk, étaient longues d'environ 12 pieds, en suivant leur courbure; une seule pesait 280 livres; sa tête, sans les défenses, en pesait plus de 400. M. Adams observa que l'animal devait avoir une queue très-courte et épaisse; la peau est d'un gris foncé; elle ne diffère de celle des éléphants des Indes que parce qu'on n'y distingue pas les points bruns qu'on remarque dans la peau de ces derniers.

Les poils dont il était couvert sont de trois sortes : les plus longs, qui ressemblent à des crins, ont douze à quinze pouces; leur couleur est brune; d'autres n'ont que neuf à dix pouces, ils sont plus minces et de couleur fauve; enfin, une laine de quatre à cinq pouces de longueur, mais fine et douce, et de couleur fauve-clair, garnissait la racine des autres. Tout annonce donc dans le mammoth un animal destiné à vivre dans une contrée froide, avec le rhinocéros de la même espèce que celui du Wilhoui.

Ce qui doit encore faire supposer que ces animaux pouvaient alors vivre dans le nord, c'est que, de nos jours, des tigres entièrement semblables à ceux des Grandes-Indes, se montrent encore de temps en temps en Sibérie, où l'on en a tué plusieurs d'une taille énorme¹.

Il n'y a donc rien d'étonnant que ces grands animaux, surpris tout à coup par les débâcles occasionnées par un soulèvement récent, aient été entraînés à quelques pieds de profondeur dans un sol constamment gelé, où ils se sont conservés jusqu'à nos jours. Les rivières peuvent d'ailleurs les avoir entraînés très-loin et les avoir abandonnés au milieu des sables ou le froid vint promptement les saisir. Il faut, dans tous les cas, considérer leur destruction comme l'effet d'une mort violente, et leur grande accumulation comme le résultat d'une action de transport.

Ici se présente une question grave et difficile : l'homme, qui, selon toutes les apparences, a paru un des derniers sur la terre, était-il contemporain de ces grands pachydermes, ou vint-il après leur destruction prendre le sceptre du monde? La solution n'est pas encore positive. L'absence d'ossements humains dans les alluvions anciennes fait considérer l'homme comme postérieur à ces grandes débâcles; telle est du moins l'opinion qui est généralement adoptée; mais M. Schmerling, bien au fait de la difficulté du problème, et reconnaissant toute l'inexactitude avec laquelle les cavernes ossifères ont été scrutées jusqu'ici, a fini par conclure que les restes humains ont été enfouis dans les entrailles de la terre à la même époque, et par conséquent par les mêmes causes qui y ont entraîné une masse

¹ HUMBOLDT, *Fragments asiatiques*, t. II, p. 388.

d'ossements de différentes espèces d'animaux éteints.

Ses raisons sont que ces ossements présentent tous les caractères et les variétés de nature ou d'état des os des autres mammifères, et qu'ils ont été trouvés au milieu des débris de rhinocéros, de chevaux, d'hyènes et d'ours, et dans une terre en apparence nullement remaniée.

De plus, ayant eu le bonheur de découvrir dans cette position une tête humaine, il se trouve que, comparée à celle de la race européenne, elle présente des différences de formes qui la rapprochent plutôt du crâne de l'éthiopien; c'est donc un cas tout semblable à celui offert par les crânes trouvés dans la Löss, en Autriche, et conservés, soit au Muséum de Paris, soit chez M. le comte G. de Rasonmowski, à Vicence¹.

Depuis les derniers événements qui ont modifié la surface de la terre, les forces extérieures et intérieures ont continué d'agir, les dernières par les volcans, les tremblements de terre, les eaux thermales, et les autres par l'érosion, les actions de transport et de sédiment. Les forces organiques se développent encore dans la création des îles de coraux, l'enfouissement des forêts, la formation de la tourbe, du terreau, etc. Nous avons étudié avec détail tous les phénomènes de l'époque actuelle, nous terminerons par quelques considérations sur la distribution des êtres organisés.

Cette série de créations successives, ou plutôt ce développement sous des types divers d'une même création, dont nous venons de parcourir les phases, nous montre la matière organisée se présentant, dans les premiers âges du globe, sous des formes peu variées, quoique déjà compliquées. Ainsi, une seule famille de plantes (les fougères) fait plus de la moitié de la flore des houillères; plus loin les cycadées et les conifères entrent aussi en très-grande proportion dans la végétation de l'époque jurassique; plus tard, les espèces, les genres, les familles deviennent plus nombreux et plus distincts, jusqu'à l'époque actuelle, où la flore est sans

contredit plus variée que pendant le dépôt des sédiments qui se sont succédé depuis les terrains primaires jusqu'à nous.

La même complication a lieu pour les types du règne animal; les zoophytes, les mollusques, les crustacés et les poissons, qui ont existé les premiers, s'associent ensuite aux insectes, aux reptiles, aux cétacés, aux mammifères, aux oiseaux, et enfin à l'homme, et tous existent encore, à l'exception d'un certain nombre d'espèces et de genres qui ont péri pendant cette longue traversée.

Il ne paraît pas qu'il y ait eu d'interruption marquée dans la série des créations, ou du moins, si une cause est venue arrêter le développement des forces organiques, elle a été locale, et les êtres antérieurs à l'effet destructeur n'ont pas tous péri pendant son action; ils se sont ensuite modifiés pour s'adapter aux milieux dans lesquels ils devaient vivre, et ceux qui n'ont pu se plier à ces circonstances se sont éteints peu à peu.

L'uniformité de température, indépendante du climat et des saisons, dans les premiers âges de notre planète, entretenait aussi à sa surface uniformité de créations, mais peu à peu ont changé et la lumière et la chaleur, l'humidité et la composition de l'atmosphère. Peu à peu la chaleur centrale a cessé de se manifester au dehors; des zones distinctes par leur température et par plusieurs autres caractères se sont établies, et dès que des causes aussi variées se sont fait sentir, les êtres organiques se sont peu à peu habitués à s'y adapter en modifiant leurs organes, et de là est venue cette grande variété d'êtres vivants, qui caractérise notre époque.

Aussi, quoique les couches dont se composent les terrains de sédiments nous révèlent de nombreuses espèces dont elles ont conservé les empreintes ou les débris, nous ne devons pas moins considérer l'état actuel du règne organique comme le plus compliqué qui ait jamais existé, et notre époque comme celle qui présente le plus grand nombre de genres et d'espèces qui se soient jamais montrés ensemble, ou qui aient vécu pendant la même période. Nous devons attribuer cette variété à la longueur de la période géologique pendant laquelle nous vivons, à la position de la terre relativement au soleil, aux inégalités dont sa

¹ *Résumé des Sciences géologiques*, par M. Boué, 1855, p. 457.

surface est couverte, et à la composition de l'atmosphère qui l'enveloppe.

Ces causes, isolées ou réunies, modifient singulièrement la distribution géographique des êtres vivants à la surface de la terre, et, à de nombreuses exceptions près, nous retrouvons, en séries horizontales ou en groupes plus ou moins éloignés, des différences aussi grandes que celles qui nous ont été offertes dans la série superposée que nous venons d'étudier.

Les animaux donés de la faculté de se mouvoir, et pouvant émigrer quelquefois très-loin, occupent nécessairement des régions moins déterminées, et dont les limites sont moins fixes que celles des végétaux. Ceux-ci, retenus par leurs racines, et se propageant de proche en proche par des rejets ou par des graines, semblent occuper sur la terre de véritables centres de création autour desquels on les voit se répandre et rayonner, jusqu'à ce que des obstacles invincibles s'opposent à leur développement et à leurs migrations.

A bien considérer la surface de la terre, ses grandes divisions en îles et en continents, la séparation de ces derniers en grands bassins, qui sont quelquefois limités par des chaînes de montagnes couvertes de glaciers inaccessibles à tous les êtres vivants (à quelque partie du règne organique qu'ils appartiennent), on reconnaît bientôt qu'il faut encore admettre, comme cela avait lieu pendant la formation des terrains, des créations locales que des circonstances analogues ont rendues presque semblables sur plusieurs parties du globe. Ainsi le même genre, et plus rarement la même espèce, trouvant, quoiqu'à une grande distance, les mêmes conditions atmosphériques, la même température, le même degré d'humidité, etc., se sont trouvés identiques, parce qu'ils avaient été soumis aux mêmes conditions de développement. Comme il a dû arriver plus souvent, que ces circonstances étaient différentes, les êtres organisés ont aussi présenté des caractères différents. Les genres et les espèces ont été créés analogues et non identiques, et quelquefois avec des différences si légères que nous hésitons pour savoir s'il existe réellement des motifs suffisants de séparation. L'homme produit tous

les jours, à son gré, dans ses animaux domestiques, et dans les plantes qu'il cultive, des différences bien plus grandes que celles qu'il considère comme nécessaires pour motiver la séparation en espèces distinctes; et ce qui prouve qu'il se sont des conditions particulières qui ont déterminé ces modifications, c'est que s'il abandonne ses créations, ou, ce qui est la même chose, s'il n'entretient pas ces conditions de changement, les anciens types reparaissent. Nous ne pouvons, il est vrai, modifier ainsi tous les êtres vivants; mais aussi il y a bien loin de la puissance de l'homme à celle de la nature, qui a le temps à sa disposition, élément qui nous échappe dans tous nos travaux et dans toutes nos spéculations. Avec le temps, les espèces contractent des habitudes comme les individus, et acquièrent ainsi une grande stabilité qui caractérise surtout l'époque actuelle à cause de sa longue durée. Ce n'est donc qu'avec beaucoup de peine que nous pouvons modifier les êtres organisés, parce qu'ils ont des habitudes d'existence prises depuis longtemps dans les mêmes conditions, et comme les modifications que nous pouvons apporter à leurs formes ou à leurs propriétés ne peuvent être maintenues pendant une période aussi longue, il y a d'abord oscillation entre les caractères ajoutés et les caractères primitifs, et retour vers le premier état. C'est ainsi que des chevaux et d'autres animaux domestiques, transportés par des navigateurs, dans des lieux où ils ont échappé à l'état de domesticité, ont repris les caractères du type primitif. Nous voyons, au contraire, le blé cultivé depuis une si longue suite de siècles qu'il est devenu une espèce constante de notre création, et que nous pouvons à peine retrouver sa souche et sa patrie.

A l'époque où les phénomènes géologiques avaient assez d'intensité pour faire varier plus ou moins rapidement les conditions d'existence des êtres organiques, ceux-ci changeaient d'aspect et de structure pour se conformer aux milieux ambiants, et cela d'autant plus souvent, que ces conditions étaient elles-mêmes plus promptement modifiées. Il n'y a donc rien d'étonnant qu'à l'époque actuelle, qui n'offre, depuis des siècles, aucune modification sensible, les êtres vivants nous pré-

sentent un état de stabilité déterminée par les circonstances extérieures.

En admettant, dans un grand nombre de localités, des centres de créations animale et végétale, il faut aussi faire la part de la propagation des espèces par dissémination et par locomotion. Cette dernière faculté n'appartient pas à toutes les espèces d'animaux. Un grand nombre de genres faisant partie des classes inférieures en sont privés, mais aussi on rencontre certaines espèces qui en sont douées à un haut degré : tels sont surtout les oiseaux et les poissons voyageurs, ainsi que plusieurs mammifères, qui peuvent se transporter très-loin et en fort peu de temps ; mais ces derniers sont aussi arrêtés par les grands fleuves, par les chaînes de montagnes, par la mer, et cependant quelques espèces se rencontrent dans des îles complètement isolées, où elles n'ont certainement pas été transportées. On remarque aussi dans des rivières séparées par de grandes distances des poissons complètement identiques, et il est bien difficile de se rendre raison de leur présence dans des lieux si éloignés, et de leur parfaite identité, si l'on ne suppose pas qu'ils ont été créés dans chacune de ces localités. Il serait du moins impossible d'admettre que des poissons d'eau douce aient pu traverser une certaine étendue d'eau salée pour remonter ensuite le cours d'un autre fleuve. L'eau salée ferme complètement l'embouchure des fleuves pour la plupart des êtres organisés.

Les reptiles ne sont pas conformés non plus de manière à entreprendre de grands voyages et à surmonter de nombreux obstacles. Leurs régions d'habitation doivent être plus limitées que celles des mammifères et surtout que celles des oiseaux et celles des poissons marins. Les crustacés, moins encore que les reptiles, ont pu établir au loin de nombreuses colonies. Les insectes attachés aux plantes qui les nourrissent, les coquillages fixés sur les rochers, ou traînant leur pesante enveloppe, les zoophytes, dont quelques genres sont complètement immobiles, n'ont pu s'étendre qu'à la manière des végétaux, et ont dû gagner, de proche en proche, jusqu'aux limites qui leur furent assignées par la nature.

L'homme est le seul de tous les êtres du

règne animal qui ait pu émigrer jusque sur les points les plus reculés de la terre. En plaçant en Asie le berceau du genre humain, on croit suivre la trace des nombreux asiatiques qui en sont sortis pour peupler les différentes parties du monde : on croit voir un peuple primitif atteindre directement l'Europe et l'Afrique, passer en Amérique par les îles Aléoutiennes plutôt que par le détroit de Bering, gagner la Nouvelle-Hollande par les îles nombreuses qui la séparent de l'Inde, et parvenir de cette grande île sur la Nouvelle-Zélande. Mais que d'illusions dans ce rapide voyage ! Qu'il y a loin de l'état des peuples qui habitent la plupart de ces contrées, au degré de civilisation qu'ils auraient dû atteindre avant de pouvoir l'exécuter ! Que de différences tranchées entre l'organisation de ces peuples, la forme de leur cerveau, leur degré d'intelligence, la couleur de leur peau et une foule d'autres caractères dont les types se sont confondus et mêlés ! Nous en ferions autant d'espèces distinctes, si l'homme ne se modifiait pas chaque jour ; si, création nouvelle sur la terre, il ne se trouvait pas encore dans des conditions qui permettent le perfectionnement de sa race, sans le rapport moral, plutôt que sous celui de l'organisation physique.

Nous ignorons l'étendue des migrations des peuples, mais il est bien difficile de croire que l'homme des rives du Mississippi et du détroit de Magellan, que celui du Cap et l'habitant des terres de l'Australie, soient les points extrêmes d'une même création, dont le centre serait situé sous le beau climat de l'Asie.

Le rayonnement des végétaux autour du centre de création, éprouve un grand nombre d'obstacles, parmi lesquels se rencontrent d'abord, à quelques exceptions près, ceux qui arrêtent les migrations des animaux. Indépendamment de ceux-là, il en est d'autres qui s'opposent plus directement à la décentralisation des plantes. Telles sont les chaînes de montagnes médiocrement élevées que les animaux franchissent dans certaines saisons, ou même dans toutes, parce qu'ils n'y séjournent qu'un instant, tandis que les plantes, qui ne s'emparent du terrain que par un empiètement lent et successif, sont forcées de végéter plusieurs années dans un même lieu, et

l'élévation, modifiant la température, arrête tout à coup leur marche.

D'autres fois ce sont des lieux marécageux qui s'opposent au passage d'espèces qui ne croissent que dans des terrains secs, ou bien ce sont d'épaisses forêts à l'ombre desquelles ne peuvent vivre des végétaux qui croissent habituellement en plein soleil. L'inverse peut également avoir lieu. Les plantes aquatiques sont aussi confinées dans leurs bassins et dans leurs fleuves, où elles sont emprisonnées comme les poissons par l'eau de la mer qui tue leurs germes ou du moins empêche leur développement. Une propriété assez générale vient, il est vrai, s'opposer aux causes de réclusion que nous venons d'énumérer, c'est la faculté locomotive qui, sans être inhérente à leurs graines, leur est communiquée par une foule d'agents extérieurs. Il suffit d'étudier quelque temps le mécanisme des fruits, la forme et les appendices des graines, pour se convaincre de la haute prévoyance de la nature et de la sagesse infinie du Créateur.

Beaucoup de graines sont lancées au loin par l'élasticité de leurs enveloppes; mais la plupart d'entre elles sont organisées de manière à être transportées par les vents et par les eaux à des distances qui sont quelquefois prodigieuses. Ces espèces n'ont, comme les animaux voyageurs, d'autre obstacle à leur extension que les conditions de température, de sécheresse, d'humidité, etc., qui sont loin d'être les mêmes sur les différentes parties de la terre, et qui circonscrivent l'étendue de ces sortes de conquêtes végétales.

Peut-être devons-nous avoir aussi dans la distribution des êtres organisés quelques phénomènes dépendants de causes géologiques particulières. Ainsi, l'absence de mammifères et de terrains de sédiment sur les nouvelles îles découvertes dans la mer du Sud, tendraient à faire croire au soulèvement récent de ces îles. Le grand nombre d'espèces végétales et animales, communes aux côtes de l'Espagne et de l'Afrique, qui se correspondent, pourraient faire supposer une ancienne liaison entre l'Europe et l'Afrique, et moderne l'existence du détroit de Gibraltar. Les mêmes observations, appliquées aux deux rivages de la Manche, amèneraient aussi à conclure, ainsi que nous l'avons déjà fait, que

c'est à une époque récente que les îles Britanniques ont été séparées du continent. Le soulèvement de quelques chaînes de montagnes, l'érosion de plusieurs vallées peuvent avoir été postérieurs à la création de divers corps organisés et peuvent opposer maintenant à leur migration des obstacles qui, dans le principe, n'existaient pas. Tous ces faits doivent être pris en considération dans l'étude de la distribution des plantes et des animaux, mais ils ne détruisent pas la nécessité d'admettre plusieurs centres de création.

Aussi, pour les êtres vivants des deux régions, il existe à la surface du globe des *régions organiques*, souvent caractérisées par des types particuliers qui sont dominants, et impriment leur physionomie à toute la région.

Les actions variées de la température, de l'eau, de la lumière, du sol et de l'atmosphère fixent les limites de ces grandes associations organiques, déterminées par les stations et les habitations des êtres qui les composent.

L'examen attentif des diverses régions organiques vient encore appuyer l'opinion des créations locales; car il arrive souvent que les types sont entièrement différents. Si nous prenons pour exemple la distribution des mammifères, nous verrons que la Nouvelle-Hollande offre des *marsupiaux* qui lui sont particuliers; l'Afrique de nombreux *antilopes*; l'Amérique méridionale est caractérisée par ses singuliers *tardigrades*. Souvent des genres et même des espèces semblent en remplacer d'autres, quoiqu'à de très-grandes distances. Ainsi, les lamas et les vigognes représentent, en Amérique, le chameau et le dromadaire de l'ancien continent; le jaguar remplace le tigre; le tapir a ses analogues en Afrique et en Asie; les singes de cette dernière partie du monde appartiennent à des genres différents de ceux de l'Amérique équatoriale; le rhinocéros, le lion et l'éléphant d'Asie ont chacun leurs analogues en Afrique. On peut faire les mêmes remarques sur les oiseaux, les reptiles, les insectes, etc. Cette sorte de parallélisme des familles, des genres ou des espèces est surtout sensible pour les végétaux. Les formes majestueuses des palmiers se retrouvent sous les diverses parties de la zone torride, mais dans des genres différents, quoique très-analogues. Les

géraniens d'Europe sont remplacés par les nombreuses pelargones du Cap; les mimosa aux feuilles entières de la Nouvelle-Hollande sont les équivalents des acacias au léger feuillage des autres contrées du globe; et pour choisir un exemple dans des points plus rapprochés, la seille lilio-hyacinthe de la France centrale remplace exactement, dans la végétation printanière des forêts, la hyacinthe des prés du Nord et de la Belgique. On pourrait multiplier presque indéfiniment ces exemples, mais ils suffisent pour prouver que des conditions d'existence analogues se sont présentées dans des climats très-éloignés, et que les créations produites sous leur influence ont aussi entre elles des rapports d'organisation, très-marqués. Il nous est cependant tout à fait impossible de démêler les causes qui ont donné lieu aux différences que nous remarquons; ainsi nous ignorerons probablement toujours pourquoi les fenilles des mimosas de la Nouvelle-Hollande sont entières au lieu d'être ailées, pourquoi les feuilles des métrosideros, des eucalyptes et de plusieurs autres plantes de cette contrée nous offrent la même conformation, et quel rapport peut exister entre les conditions qui ont déterminé la structure caractéristique de ces feuilles et celle qui a favorisé le développement des formes anormales de l'orouithorinque et des kangourous, qui habitent les mêmes lieux. Nous remarquons très-bien toutes ces singularités, mais sans les expliquer.

Le cadre, déjà dépassé, de cet ouvrage ne nous permet pas de décrire chacune des régions organiques, et nous devons même faire l'aveu que nous sommes loin de posséder les renseignements suffisants pour donner à un travail de ce genre, le grand intérêt qu'il devrait présenter. Les naturalistes ont trop souvent négligé de nous faire connaître les nombreux détails de géographie organique qu'ils étaient à même de recueillir. La géographie botanique est aussi bien plus avancée que la géographie animale.

Quel que soit le nombre des régions ou des principaux centres de création qui existent sur la terre, leur étude a conduit à quelques généralités dont l'exposé va terminer la tâche que nous nous sommes imposée.

On remarque qu'à climats égaux la végé-

tation est différente dans chaque région, et dans ce cas, les régions sont éloignées. Ainsi les diverses parties de l'Amérique et de l'Europe, qui se correspondent sous ce rapport, offrent des végétaux différents; mais si l'on porte les graines d'une région dans l'autre, elles réussissent presque toujours et se propagent avec facilité. La même remarque s'applique aux animaux, et nous prouve encore que les créations ont été locales, car on ne comprendrait pas comment des espèces qui s'accroissent actuellement de certaines conditions d'existence, auraient pu périr si leurs types eussent existé.

Un des phénomènes les plus curieux dans la distribution des êtres organisés, c'est leur complication, ou plutôt leur multiplicité, à mesure que l'on avance du pôle vers l'équateur. Ce fait, très-sensible pour les animaux et surtout pour les oiseaux et les insectes, devient encore plus évident pour les plantes. Non-seulement la végétation devient plus variée, mais le nombre des espèces augmente dans chaque genre. Ainsi, en Laponie, où la flore se compose de 610 espèces, les genres renferment, terme moyen, 3 espèces; en Suède, ils en contiennent 4; en France 6. Il y a cependant des exceptions pour les fies, qui semblent avoir une végétation particulière et moins variée que celle des grands continents. Les îles Britanniques, qui offrent 1,485 espèces vasculaires, n'ont que 2 espèces $\frac{1}{2}$, par genre; les îles Canaries et Sainte-Hélène, 1 $\frac{1}{2}$, et 1 $\frac{1}{3}$ seulement, quoique plus rapprochées que l'Angleterre des régions équatoriales. Depuis l'apparition des êtres organisés sur la terre, les mêmes règles semblent avoir présidé à la distribution des espèces. Aussi la faune et la flore des terrains anciens sont-elles plus simples et moins variées que celles des formations plus modernes; et les espèces ensevelies dans les derniers dépôts de sédiment sont évidemment moins nombreuses que celles qui vivent actuellement à la surface de la terre.

L'élévation au-dessus du niveau de la mer équivalait au rapprochement du pôle, et l'on voit, à mesure que l'on monte sur une montagne, les genres diminuer en espèces, les herbes remplacer les arbres qui végètent à la base, et l'on arrive enfin à une zone glacée.

qui représente les glaces polaires et qui arrête toute espèce de végétation. Les animaux suivent le même décroissement que les plantes, et à l'exception de quelques oiseaux de haut vol, comme les aigles, les gypaètes, les condors, qui planent sur les hautes cimes du globe, la vie s'arrête à une certaine élévation. Les mammifères sont ceux qui supportent le plus difficilement la diminution de pression atmosphérique. Ils peuvent cependant vivre à une grande élévation. Des bœufs sauvages existent, dit M. de Humboldt, sur la vaste plaine qui entoure le volcan d'Antisana, à 2,700 toises de hauteur absolue; mais la pression de l'air y est si faible, que si on les poursuit avec des chiens, ils perdent le sang par le nez et par la bouche¹. Les chiens, ainsi que l'homme, supportent plus facilement cette faible compression.

Les plantes ne peuvent pas s'élever plus haut que les animaux; le *saxifraga Boussingaultii*, découvert sur le Chimborazzo, à 2,540 toises, par le savant voyageur dont elle porte le nom, est probablement l'être végétal qui se développe à la plus grande élévation.

Au-dessous de la surface de la mer, les hydrophytes et les coquillages diminuent aussi en nombre et en variété, à mesure que l'on s'enfonce; et il arrive un terme, situé à environ 200 mètres de profondeur, au delà duquel quelques polypiers et quelques plantes marines sont les seuls représentants des nombreuses créatures qui se développent avec tant de vigueur sous la ligne qui joint l'atmosphère et l'Océan, ou sur le 0 de l'échelle des hauteurs et des profondeurs. Au-dessous de 500 mètres, ou de 150 toises, la vie s'ête complètement ainsi que la lumière. Le décroissement est donc bien plus rapide dans l'eau que dans l'air, puisque les deux termes de l'échelle verticale organique sont situés à 500 mètres au-dessous et à 5,400 mètres au-dessus de 0, formant ainsi une série de 5,700 mètres, le long de laquelle sont disposés tous les êtres vivants de l'époque actuelle. C'est donc à la surface de la terre et près de l'équateur que la force organique est la plus intense; elle décroît à la fois en hauteur, en profondeur et en éloignement de la ligne équa-

toriale, où les deux hémisphères viennent eux-mêmes se joindre par leur base, comme deux énormes montagnes terminées par les glaciers des pôles. Nous voyons aussi, dans les régions équatoriales, les plantes et les animaux acquérir de grandes dimensions. Les plus grands quadrupèdes sont originaires des contrées chaudes du globe, quoique cette règle offre des exceptions. Les plantes ligneuses augmentent aussi en nombre d'une manière très-remarquable. Ainsi, en Laponie, on trouve, sur 100 espèces végétales, 1 seul arbre ou arbrisseau ayant plus de deux pieds de hauteur, tandis qu'en France on en trouve 1 sur 80, et à la Guyanne 1 sur 5. Aussi les forêts offrent bien plus de variétés sous les tropiques que dans les zones tempérées. Il semble que, dans ces contrées, toutes les plantes soient douées d'une certaine vigueur, et qu'elles puissent lutter avec succès les unes contre les autres, tandis qu'en Europe et dans la plupart des contrées tempérées du globe, on voit certaines espèces empiéter peu à peu sur le terrain des autres, les en exclure, pour ainsi dire, par droit de conquête, et former ces grandes réunions d'individus semblables ou de plantes qui vivent en société, comme les bruyères, l'ulx, certains genêts, etc. Ce sont les végétaux les plus robustes qui restent maîtres du terrain, tandis que les autres sont relégués dans des stations particulières, ou restent épars au milieu des espèces dominantes. Ces réunions sont plus rares dans les contrées chaudes. On a remarqué aussi que certaines formes végétales appartiennent spécialement à telles ou telles contrées, ou dominent dans sa végétation. Ainsi, à mesure que l'on s'avance vers l'équateur, on voit le nombre des dicotylédons augmenter et prédominer sur celui des monocotylédons, puisque sur une plante appartenant à cette grande division des végétaux, il y a, en Laponie, 2 dicotylédons, 5 en Angleterre, 4 en France, 6 aux Canaries. Les cryptogames vasculaires, tels que les fougères, suivent à peu près la même règle que les dicotylédons, et se multiplient surtout dans les îles équatoriales, tandis que les cryptogames cellulaires, telles que les mousses, les lichens et les champignons, offrent un caractère inverse, et deviennent à la fois plus nombreuses et plus variées dans les régions

¹ Humboldt, *Tableaux de la Nature*, t. I, p. 181.

polaires, où leurs espèces remplacent une partie des autres végétaux qui n'ont pu résister aux influences destructrices de ces froides régions.

On voit par ce qui précède que des lois remarquables par leur généralité, président à la distribution des êtres organiques qui, à l'époque actuelle, couvrent la surface de la terre.

Tout, dans ce moment, paraît calme dans la nature ; les forces intérieures sommeillent ou s'éteignent, et nous vivons au milieu d'une longue période de tranquillité. La composition de l'atmosphère et surtout la proportion d'acide carbonique, qui a une si grande in-

fluence sur la vie organique, semble devoir rester la même, puisque les animaux forment incessamment, par l'acte de la respiration, celui qui est nécessaire à la nutrition des plantes. Il y a donc équilibre dans la naissance des forces diverses qui modifient l'état actuel du globe. Ces magnifiques harmonies de la nature seront-elles éternelles ? La succession des siècles ne viendra-t-elle pas anéantir ces êtres organisés dont la variété et l'élégance décorent notre planète ? Dieu le sait. Et nous, auxquels il a donné l'intelligence nécessaire, non pour comprendre ses œuvres, mais pour les admirer, humilions-nous devant sa toute-puissance, et respectons son immuable volonté.

FIN.

1832



VOCABULAIRE

DES

TERMES CONTENUS DANS LES ÉLÉMENTS

DE GÉOLOGIE

ET D'HYDROGRAPHIE.

Nota. Les chiffres ajoutés à la fin des articles indiquent la page où il en a été question ; en sorte que le Vocabulaire sert en même temps de table alphabétique.

A.

ABIME (de *a* priv. et *puḗs*, fond). Cavités naturelles ordinairement perpendiculaires ou à bords très-abruptes ; elles sont vides ou en partie remplies d'eau, et toujours profondes.

ABYSSIQUE. Épithète donnée par M. Alex. BAONNIART aux terrains anciens qui se sont déposés dans le fond de l'ancienne mer et en ont comblé les abîmes.

ACCESSOIRE. Voyez **ROCAZ**.

ACCIDENTEL. Voyez **ROCHE**.

ACTIONS CHIMIQUES provenant de forces internes, page 333. — *Filons*, *ib.* — *Actions de contact, de sublimation et de dolomisation*, page 341. — *Phénomènes de refroidissement et de liquation*, page 346. — *Actions organiques*, page 396.

ADELOGÈNE (ἀδελος caché, γένος produire). On nomme ainsi les roches composées dont les parties constituantes sont trop petites ou trop intimement mélangées pour être visibles à l'œil nu.

AÉROLITHE (ἀερ air, λίθος pierre). Masses minérales qui tombent de l'atmosphère ou de l'espace.

AGALYSIENS (αγα part. augm., λίθος dissolution). Nom donné par M. BAONNIART et M. D'OMALUS D'HALLOY, aux terrains composés de roches formées par voie de cristallisation confuse.

AGATISÉ. Converti en agate.

AGE et SUPERPOSITION DES TERRAINS, page 330. — *Age des soulèvements*, page 301.

AGGLOMÉRAT. Voyez **CONGLOMÉRAT**.

AGRÉGAT. Réunion de plusieurs fragments, avec ou sans ciment, à l'époque de leur formation.

AIR. Son action à la surface du globe. Page 133.

ALCALI. Corps qui peut neutraliser les acides, comme la soude, l'ammoniaque, la potasse.

ALLURE. Marche d'un filon dans la roche qu'il traverse. Sa manière d'être considérée dans son ensemble.

ALLUVIAL. Déposé par alluvion. — Terrains très-modernes, qui se forment même de nos jours.

ALLUVIENS. On nomme ainsi les terrains modernes, composés de débris mécaniquement charriés et déposés dans les vallées et les plaines, et qui ne portent pas l'empreinte d'un transport violent.

ALLUVION. Substantif qui est presque synonyme de *terrains diluviens*, mais qui se prend dans une acception beaucoup plus générale pour désigner tout dépôt mécanique des eaux répandues sur les continents, d'une manière générale ou dans des localités très-restreintes.

ALLUVIUM. Dépôts actuels des eaux, par

opposition à *diluvium*, qui exprime une action semblable, mais plus ancienne et plus générale.

ALUMINIUM. Corps simple peut-être métallique, et qui est la base de l'alumine. Il a été isolé par WOHLEB et O'EASTEN.

AMAS. Les amas sont, comme les flons, de grandes masses minérales non stratifiées, mais de figure irrégulière, ordinairement arrondie ou ovale; ils forment quelquefois une saillie sur la surface du sol, et constituent souvent, dans ce cas, de véritables montagnes, à cause de leur puissante extension.

AMBIANT. Qui enveloppe de toutes parts. — *Milieu ambiant*, celui dans lequel un être ou un corps est plongé.

AMMONÉENS. Nom donné par M. D'OMALUS aux terrains de sédiment anciens, qui sont caractérisés par une grande quantité d'ammonites. Voyez TRAAIN.

AMORPHE (# priv. *μορφή* forme). Qui n'a pas de forme bien déterminée.

AMPELITE. Schiste earburé, tachant les doigts.

AMPHIBOLIQUE. Qui contient de l'amphibole.

AMPHIBOLITE. ΒΑΘΥΝΙΑΤ. Roche à base d'amphibole, avec mica, feldspath, grenat, etc.

AMYGDALOÏDE (ἀμυγδαλή amande, *αἰδής* ressemblance). On nomme roches amygdaloïdes celles qui contiennent dans leur pâte des noyaux divers, ayant plus ou moins la forme d'une amande.

ANAGÉNITE. ΗΑΥΤ. (*Grauwacke à gros grains*.) Roche fragmentaire, à morceaux plus ou moins volumineux appartenant aux terrains primitifs et liés par des ciments divers.

ANHYDRE (# priv. *ἕνυ* eau). Privé d'eau.

ANIMAUX. Leur influence sur la création des terrains. Page 200.

ANSE. Petite baie. Page 2.

ANTARCTIQUE. (ἀντ contre, ἀπτός ourse), opposé à l'ours. Synonyme d'*austral*, *méridional*.

ANTÉDILUVIEN. (Avant le déluge.) Épithète appliquée aux terrains antérieurs aux grands dépôts alluviaux, et que chaque géologue limite à sa manière. Ce nom s'applique souvent aussi aux espèces organiques actuellement perdues.

ANTICLINALE. On nomme *ligne anticlinale*, ligne de faite ou de la stratification, la ligne à

partir de laquelle les couches plongent dans deux directions opposées. Cette ligne, souvent très-utile à connaître, pour indiquer les dislocations des couches qui ont eu lieu dans une contrée, est assez bien représentée par le faite d'une maison, quoique rarement elle soit aussi droite.

ANTIMOINE. Corps simple, métallique.

ANTHRACITE. Roche combustible, composée de charbon presque pur.

ANTHRAXIFÈRE (ἀνθραξ charbon, *ferre* porter). Nom donné par M. D'OMALUS à un groupe de terrains de sédiment anciens, qui comprend le terrain houiller et celui qui lui est inférieur.

APHANITE. ΗΑΥΤ. (*Cornéenne*, *Dolomite*.) Roche à texture terreuse, fusible en émail noir et passant au schiste argileux.

ARCHIPEL (de ἀρχη dominer, *πλῆθος* mer), réunion de plusieurs îles en un groupe. Page 2.

ARCTIQUE (de ἄρκτος ourse). Synonyme de boréal ou septentrional.

ARDOISIER. Épithète donnée par M. D'OMALUS à un groupe de terrains de sédiment très-anciens, mais superposé aux granites et aux mica-schistes.

ARÉNACÉ (de *arena* sable). Composé de petits grains séparés et très-peu adhérents.

ARÈTE. Ligne de séparation de deux versants ou de deux bassins. Page 3.

ARGENT. Corps simple, métallique.

ARGILEUX. Qui est de la nature de l'argile ou qui en contient.

ARGILOPHYRE. ΒΑΘΥΝΙΑΤ. (*Thonporphyr*, *Werra*.) Porphyre argileux des géologues allemands.

ARKOSE. ΒΑΘΥΝΙΑΤ. Roche d'agrégation, à texture grenue et essentiellement composée de gros grains de quartz hyalin et de grains de feldspath ou laminaire ou compacte. C'est une espèce de grès.

ARSÉNIC. Corps simple, métallique.

ASSISE. S'emploie comme synonyme de *couche*, *strate*, mais désigne plus spécialement de grandes divisions dans un terrain de même nature.

ATTERISSEMENT. Dépôt généralement irrégulier, formé par les eaux, à des époques récentes. On emploie aussi ce terme, quoique plus rarement, pour désigner d'anciennes alluvions.

AUSTRAL. (de αἶσα sécher). Situé, relative-

ment à nous, au delà de l'équateur. — Synonyme de *méridional*.

AVALANCHE. Éboulement de neige, fréquent dans les hautes montagnes.

AZOTE. Corps simple, gazeux, qui entre pour les $\frac{4}{5}$ dans la composition de l'atmosphère.

B.

BAIE. Golfe creusé dans les contours d'une île. On l'applique aussi aux continents. Page 2.

BALLON. Montagne arrondie. Page 99.

BANC. Atterrissement de matières incohérentes, qui se forme à l'embouchure des fleuves ou dans la mer. — Couche solide et généralement dure, intercalée au milieu d'autres couches plus tendres. — S'emploie aussi comme synonyme de *couche*, *assise*, *strate*. Page 2.

BARIUM (de *βαρος* pesanteur). Corps simple, métallique, radical de la baryte, isolé, par H. DAVY.

BARRE. Banc de sable déposé à l'embouchure d'un fleuve ou d'une rivière. — Lame d'eau, qui remonte avec rapidité le cours d'un fleuve.

BASALTE. Roche volcanique noire, à base de pyroxène, se fondant en noir au chalumeau.

BASANITE. BRONGNIART. Roche à base de basalte, contenant des cristaux divers de pyroxène, de *péridot*, de *mésotype*, etc.

BASSIN. Large vallée plus ou moins profonde, vide ou remplie d'eau. — Plaine entourée de points plus élevés. — *Bassins* ou *régions hydrographiques*. Page 19.

BERGE. Rive escarpée d'un cours d'eau. Page 3.

BISMUTH. Corps simple, métallique.

BITUMES. Corps combustibles, très-hydrogénés et très-carbonés, qui sortent de divers terrains, et qui sont amenés aussi par des sources minérales.

BLOC. Masse de rochers de nature diverse, mais toujours volumineuse et détachée du sol sur lequel elle repose. — *Blocs erratiques*; leur dépôt, leur origine. Page 174.

BORE. Corps simple, non métallique, découvert en 1808 par M. GAY-LUSSAC.

BORÉAL. Qui appartient au nord, qui se trouve au nord ou fait partie du nord. Synonyme de *septentrional*, *arctique*.

BRAS-DE-MER. Synonyme de *détroit*.

BRÈCHE. Roche composée de parties angu-

leuses de diverses grosseurs, réunies par un ciment.

BROME. Corps simple, non métallique, découvert en 1826 par M. BALARD.

C.

CADMIUM. Métal découvert en 1818 par STÄRMAYER et HERMANN.

CAILLOU. Fragment de roche, généralement arrondi par les eaux et peu volumineux.

CALCAIRE. Roche composée de carbonate de chaux, quel que soit son état et sa texture. — Ex. : le marbre, la craie, etc.

CALCIPHÏRE. BRONGNIART. Roche à pâte calcaire enveloppant des cristaux de feldspath, de pyroxène, etc.

CALCIUM. Corps simple, métallique, radical de la chaux et très-répandu dans la nature à l'état de combinaison. Il a été isolé par DAVY.

CALSCHISTE. BRONGNIART. (*Varité de thonschieffer*.) Schiste argileux, avec calcaire.

CAP. Prolongement d'une langue de terre dans la mer. Page 1.

CARBONE. Corps simple, très-abondamment répandu dans les trois règnes.

CASCADE. Chute d'eau, généralement peu considérable. Page 3.

CATACLYSME (κατὰ à travers, λῦσις laver). Déluge, inondation produite par un bouleversement violent.

CATARACTE (κατὰ en bas, ρήσσις rompu). Cascades des grands fleuves. Chute d'eau dans laquelle le liquide s'élanche brusquement sans glisser sur la pente du sol. Page 3.

CAVERNE. Grotte ou cavité souterraine plus ou moins étendue, page 118. — Courants d'air qui les traversent, page 129. — Cavernes à ossements, page 137.

CERIUM. Métal découvert en 1804 par BERNZELIUS et HISINGER.

CHAÎNE. On dit que les montagnes forment une chaîne quand elles sont réunies par séries au lieu d'être groupées.

CHALEUR CENTRALE. Page 208.

CHLORE (χλωρὸς vert). Corps simple, gazeux, découvert par SCHÉLLE en 1774, et considéré d'abord comme *acide muriatique suroxygéné*.

CHROME (χρῶμα couleur). Métal découvert en 1797 par VAUQUELIN.

CHUTES D'EAU, page 26. Leurs diverses espèces, *ib.*

CIME. Partie supérieure d'une montagne.

CIMENT. Pâte de certaines roches composées de fragments réunis et collés par un ciment.

CIPOLIN. **BRONGNIART.** Roche à base de calcaire saccharoïde, renfermant du mica ou du talc.

CIRQUES. Bassins arrondis, ou terminaison de vallées qui vont ensuite en s'amincissant, à mesure qu'elles s'éloignent de leur origine. Page 102.

CLASTIQUE (κλαστόν casser). Épithète donnée par M. **BRONGNIART** à deux groupes de terrains, les uns clysmiens, les autres thalassiques tritonien, qui, dans leur position et dans leurs parties, présentent tous les caractères de fracture.

CLYSMIEN (κλῦζα laver). Nom donné par M. **BRONGNIART** aux terrains de transport et d'atterrissement, qui sont évidemment formés mécaniquement par l'eau.

COBALT. Corps simple, métallique.

COL. Échancrure de la crête dans les chaînes de montagnes. Les cols servent de passage et sont souvent l'origine des vallées transversales. Page 99.

COLLINE. Montagne peu élevée. Page 98.

COLUMBIUM. Corps simple, métallique. *Foy.* **TANTALE.**

COMBINAISON. Réaction de deux ou plusieurs corps les uns sur les autres, de manière qu'ils se confondent en un seul, mais différent des deux composants, dont les propriétés disparaissent souvent en tout ou en partie.

CONCRÉTION. On donne ce nom aux minéraux composés de couches superposées, qui se sont formées lentement et successivement.

CONCRÉTIONNÉ. Formé par dépôts successifs. Exemples : Les *stalactites*, l'*hyalite*, l'*hématite*, etc.

CONFLUENT. Point de jonction de deux cours d'eau. Page 5.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES. Sur le rapport de la terre et des eaux, page 1. — Sur les cours d'eau, page 28. — Sur les lacs, page 41. — Sur les mers, page 68. — Sur les forces agissantes extérieures et organiques, et sur le dépôt des terrains de sédiments, page 204. — Sur les eaux minérales et sur leurs dépôts, page 227. — Sur la théorie des volcans et des soulèvements, page 323. — Sur la vie organique, page 392.

CONTINENT. Grande étendue de terrains, non divisée par des bras de mer. Page 2.

CONTINENTAL. Qui appartient aux continents. — *Eaux continentales.* Celles qui coulent à la surface des continents ou qui y sont enclavées.

CONTRE-COURANT. Courant qui marche en sens contraire d'un autre.

CONTRE-EMPREINTE. Apparence qui a lieu quand un corps fossile, ayant disparu par une cause quelconque, une matière étrangère, inorganique, s'est infiltrée et moulée entre le moule et l'empreinte, de manière à représenter très-exactement le corps fossile lui-même.

CONTRE-FORT. Petites montagnes ou collines qui viennent s'appuyer contre une chaîne plus élevée, en formant avec elle un angle droit.

CONTRE-PENTE. C'est le versant le plus abrupt d'une chaîne de montagnes.

COQUILLIER. Qui renferme des coquilles fossiles. — Se dit des roches et des terrains.

COSMOGÈNE (κόσμος univers, γίνομαι naître). Branche de la physique générale, qui s'occupe des hypothèses relatives à l'origine et à la formation de l'univers.

COSMOGONIE (κόσμος univers, γονή origine). Théorie ou hypothèse sur la formation de l'univers.

COSMOGRAPHIE (κόσμος univers, γράφω écrire). Description de l'univers tel qu'il s'offre à nos sens.

COSMOLOGIE (κόσμος univers, λόγος discours). Ensemble de tout ce que nous savons sur l'univers tel qu'il est, ou sur son origine.

COSMONOMIE (κόσμος univers, νόμος loi). Science qui s'occupe des grandes lois qui régissent l'univers.

COTES. Page 2.

COUCHES. Masses minérales, généralement aplaties, d'épaisseur et de direction très-variables, dont l'ensemble forme les terrains de sédiment, qui se sont déposés sur la terre. Page 107 et 111. — *Couches indépendantes et subordonnées.* Page 112.

COULEUR DES EAUX. Page 74.

COURANT. Cours d'eau qui, au lieu de se mouvoir à la surface des continents, coule au milieu même des eaux dormantes de la mer ou contre ses rivages. Sa vitesse est plus ou moins grande. — *Courants d'air froid*, page 129. — Leur origine et leur cause, page 131.

COURS D'EAU. Page 18. — Température et composition de leurs eaux, page 27. — Considérations générales sur leur force, leur ancienne puissance et leur intensité actuelle, page 28. — Leur action à la surface du globe, page 142. — Action érosive, *ib.* — Action pendant le transport des matériaux, page 143. — Action créatrice, ou dépôts des cours d'eau, page 146. — Dépôts riverains, *ib.* — Dépôts lacustres, page 147. — Delta, page 148. — Leurs dépôts dans l'intérieur du sol, page 157.

CRATÈRE (κράτερ coupe). Cavité en forme d'entonnoir, de coupe ou de bassin, que l'on remarque au sommet, sur les flancs ou à la base des montagnes ignivomes. C'est par là que s'échappent les matières gazeuses et pulvérulentes, et quelquefois les laves. — *Cratère de soulèvements*, page 307.

CRÉTACÉ. On donne cette épithète aux terrains dont la craie forme la base.

CRÊTE. Ligne de faite d'une chaîne de montagnes. Elle est ordinairement interrompue par des cols.

CRIQUE. Les marins donnent ce nom à de très-petites baies.

CRISTAL. Corps régulier, terminé par des facettes planes et unies, disposées symétriquement les unes par rapport aux autres.

CRISTALLISATION. Variations de forme dans les cristaux. Page 189. — *Cristallisation de l'eau*, page 79.

CRISTALLISÉ. Qui présente les caractères des cristaux. On nomme terrains cristallins, ceux qui sont formés de minéraux durs, à structure cristalline, quoique les cristaux se pénètrent et se confondent.

CRUES PÉRIODIQUES DES FLEUVES. Page 25.

CUIVRE. Corps simple, métallique.

CULOTS. Ce sont spécialement des amas de matières volcaniques, qui affectent assez généralement des formes coniques plus ou moins abruptes, et privés, d'ailleurs, des pouzzolanes, des cendres, des coulées de laves qui accompagnent les buttes volcaniques ordinaires.

D.

DÉCOMPOSITION DES ROCHES. Page 178.

DÉFILÉ. Page 101.

DÉGAGEMENTS DE GAZ, page 254.

DÉGEL. Passage de l'eau de l'état solide à l'état liquide.

DÉJECTION. Nom que l'on donne en général à l'ensemble des matières rejetées pendant les éruptions volcaniques.

DÉSAGRÉGATION. Séparation des diverses parties d'un minéral ou d'une roche composée, produite par le temps, la décomposition, l'influence des agents atmosphériques, des réactions chimiques ou électriques.

DÉTRITIQUE. Épithète donnée par M. BAUGNIANT et adoptée par beaucoup de géologues pour désigner un groupe de terrains postérieurs à la dernière révolution du globe. Il est composé de débris de roches et de corps organisés.

DÉTROIT. Bras de mer resserré entre deux côtes, et qui établit une communication entre deux mers. Page 2.

DILUVIEN, TERRAINS DILUVIENS. Voy. DILUVIUM. — *Courants diluviens.* Grands courants d'eau accidentels, qui ont raviné la terre et charrié une grande quantité de débris. On suppose qu'ils provenaient de soulèvements partiels ou de la fonte des neiges et des glaces amoncelées sur des points subitement échauffés par des phénomènes géologiques.

DILUVIUM. Le professeur BECKLAND donne ce nom à un dépôt de composition variée que l'on retrouve sur une certaine étendue de la surface du globe. Il l'attribue à une grande inondation marine postérieure au dépôt des terrains de sédiment supérieurs. — La plupart des géologues nomment *diluvium* les terrains d'alluvion anciens.

DIORITE HAUT (*Grünstein*, *Wacke*. — *Granitel*, *GALITZ*. — *Ophite*, *PALASS*. — *Chloritis*, *HAELLE*). Roche d'amphibole et de feldspath.

DOLÉRITE. HAUT, *LEONH.* (*Flots grünstein* et *grünstein*). Roche essentiellement composée de feldspath et de pyroxène.

DOLOMIE. Chaux carbonatée magnésifère.

DOLOMISATION. Pénétration des roches par la magnésie. Ce nom semble s'étendre à toutes les pénétrations différentes auxquelles les diverses espèces de roches sont exposées. Page 341.

DOMITE. DE BUCH. Sorte de trachyte terreux, à base de feldspath, avec quelques cristaux disséminés.

DRUSE (de *δρύν* cacher). Cavités que l'on rencontre dans les roches et qui sont ordinairement tapissées de cristaux, dont les axes convergent vers le centre de la cavité.

DUNE. Colline de sable mobile que les vents accumulent et poussent à l'opposé du point d'où ils soufflent ordinairement.

E.

EAU. Combinaison d'oxygène et d'hydrogène. — Ses propriétés, page 4. — Eaux sauvages, page 2. — Couleur et physionomie des eaux, page 72. — Eau cristallisée ou solide, page 79. — Eaux souterraines, page 123.

Eaux MINÉRALES, page 212. — Volume et intermittence de leurs eaux, page 215. — Leur température, page 216. — Leur composition, page 218. — Leur classification, page 220. — Leur origine, page 243. — Leur dépôt, page 227.

ÉBOULIS. Accumulation de débris non déposés en couches régulières et souvent adossés aux montagnes dont ils proviennent. Ils sont toujours très-modernes.

ÉCHO (ἤχου son). Répétition du son renvoyé par un corps. — Lieu dans lequel on observe ce phénomène.

ÉCLOGITE. HAUY, LEONH. Roche de diallage et de grenats.

ÉCUEIL. Saillie du sol qui s'élève peu au-dessus des eaux, ou qui plus souvent reste cachée au-dessous des flots. Page 2.

EFFLORESCENCE. Apparition de certains sels qui viennent cristalliser à la surface du sol ou des rochers, quand les matières qui les contenaient ont été privées de l'eau qui les retenait en dissolution dans leurs interstices.

ÉLÉMENT. Corps simple ou indécomposé, mais qui est censé indécomposable.

EMBOUCHURE. Page 3.

ÉMERGÉ. Élevé au-dessus de l'eau. — Opposé de submergé.

ENHYDRE (de εν dedans et d'hy eau). Qui renferme de l'eau en dedans. — Opposé de *anhydre* qui n'en contient pas.

ENTONNOIRS. Cavités dont le diamètre diminue à mesure que la profondeur augmente, et qui contiennent, donnent ou reçoivent de l'eau. Page 8.

ENZOÏQUE (de εν dedans et ζῷον animal). Les terrains enzoïques sont ceux dans lesquels on rencontre une grande quantité de débris fossiles d'animaux.

ÉPIGÉNIE (de επί sur et γέννην naître). Changement chimique, qui s'opère dans un minéral

cristallisé ou dans un corps quelconque, sans que la forme soit altérée. Tantôt c'est un principe qui disparaît, quelquefois un qui s'ajoute, plus souvent il y a changement ou substitution. Page 193.

ÉPIZOÏQUE (ἐπί sur et ζῷον animal). Épithète donnée par M. BAUGHMAN aux terrains primordiaux cristallins, supérieurs à des terrains contenant des corps organisés.

ERRATIQUE. On nomme *blocs erratiques* des masses minérales, assez volumineuses, éloignées de leur gisement primitif et situées sur des terrains entièrement différents.

ÉRUPTION. Ensemble des phénomènes volcaniques qui se manifestent au dehors.

ESCARPEMENT. Coupe perpendiculaire d'une montagne. On étend cette dénomination à toutes les pentes très-abruptes.

ÉTANG. Pièce d'eau artificielle. Page 50.

ÉTAÏN. Corps simple, métallique, connu de toute antiquité.

EUPHOTIDE. HAUY. (Gabbro, DE BUCH, LEONHARD). Roche de jade, de pétrosilex ou de feldspath, avec cristaux de diallage.

EURITE. D'AUSTRUIS. (Klingstein, WEINER.) Roche de pétrosilex, grisâtre, verdâtre ou jaunâtre, renfermant des grains de feldspath laminaire et souvent du mica.

F.

FAILLE. Fractures au milieu des couches ou des terrains. Elles peuvent être vides ou remplies.

FAITE. Ligne de jonction de deux versants d'une chaîne de montagnes. C'est le point de partage des eaux; c'est la ligne qui sépare les bassins hydrographiques.

FALAISE. Rivage escarpé. Page 2.

FALUN. Terrain d'alluvion, composé de coquilles ou de corps marins brisés et n'ayant entre eux qu'une faible adhérence.

FER. Corps simple métallique.

FEU CENTRAL. Page 208. — Feux naturels. Page 236.

FEUILLETS. Subdivision des couches de terrain en petites couches beaucoup plus minces. Structure de disgrégation en feuillets.

FLEUVE. Cours d'eau alimenté par plusieurs rivières navigables et qui se jette dans la mer, page 3, 18. — Leur nombre, page 19. — Leur divergence, page 20. — Leurs oscillations,

page 20. — Leur longueur, page 21. — Leurs affluents, page *ib.* — Leur largeur, page *ib.* — Leur profondeur, page *ib.* — Quantité d'eau qu'ils charrient, page *ib.* — Leur vitesse, p. 22. — Pente de leurs eaux, page *ib.* — Leurs crues périodiques, page 23. — Leur embouchure, page 24. — Lutte de leurs eaux contre celles de l'Océan, page 25.

FLUOR. Corps simple, radical de l'acide fluorique.

FLUX et REFLUX. Mouvement oscillatoire des eaux de l'Océan.

FILON. Masse pierreuse ou métallifère qui traverse un terrain ou une masse de roches, page 353. — *Filons d'injection*, page 354. — *Filons de dépôt*, page *ib.* — *Origine des filons de dépôt*, page 359. — *Filons-couches*. Ce nom a été donné par DEKARST à des masses minérales, qui ont un certain rapport avec la stratification des roches. Cette dénomination expressive, par rapport à celles des filons-fentes, mérite d'être adoptée, d'autant plus qu'elle dépeint parfaitement la manière d'être de ces masses, qu'on ne peut d'ailleurs confondre avec les véritables couches métallifères bien suivies, que l'on rencontre dans les formations primitives et secondaires; car elles ne suivent pas, comme celles-ci, constamment l'allure de l'ensemble des assises encaissantes. (FOUAST.)

FISSILE. Qui a de la tendance à se diviser en feuillets.

FISSURE. Joint de séparation entre deux couches de terrain ou entre les feuillets d'une même couche.

FORCES AGISSANTES, ou CRÉATRICES à la surface de la terre, page 133. — Extérieures, page 134. — Actions mécaniques, page *ib.* — Action de l'air, page *ib.* — Action des météores aqueux, page 139. — Action des sources, page 140. — Action des cours d'eau, p. 141. — Action érosive, page 142. — Action pendant le transport des matériaux, page 145. — Action créatrice, ou dépôts des cours d'eau, p. 146. — Dépôts riverains, page *ib.* — Dépôts lacustres, page 147. — Delta, p. 148. — Dépôts formés dans l'intérieur du sol, page 147. — *Forces créatrices des eaux de la mer*, page 161. — Action des marées, page *ib.* — Action des vagues, page 163. — Action des courants, page 167. — Action réunie des marées, des vagues et des courants, page 168. — Action de l'eau solide, page 172. — Dépôt des blocs erratiques, page 174. — Actions chimiques, p. 178. — Destructrices, page *ib.* — Créatrices,

page 181. — Simples dépôts, page 183. — Stalactites et concrétions, page 186. — Réactions chimiques et électro-chimiques, page 188. — Variations de forme dans les cristaux, p. 189. — Nitrification, page 192. — Remplacements ou épigénies, page 193. — Actions organiques, page 195. — Végétales, page *ib.* — Animales, page 200.

FORCES AGISSANTES INTÉRIEURES, page 207. — Chaleur centrale, page *ib.* — Phénomènes divers produits par les forces intérieures, page 211. — Eaux minérales, p. 212. — Volume et intermittence des sources thermales, page 215. — Leur température, p. 216. — Composition de leurs eaux, page 218. — Origine des sources minérales, page 221. — Dépôts formés par les eaux minérales, réactions opérées par elles, page 227. — Dégagements de gaz, page 231. — Tremblements de terre, page 232. — Volcans, page 238. — Éruptions volcaniques, page 239. — Bruits souterrains, page 260. — Emanations gazeuses, page 261. — Éjections de sables, cendres, etc., page *ib.* — Éruptions de lave, page 261. — Quelques phénomènes dépendant des éruptions volcaniques, page 268. — Distribution géographique des volcans, page 271. — Bouches volcaniques centrales, page 275. — Volcans dans l'intérieur des continents, page 282. — Chaines volcaniques, page *ib.* — Soulèvements, page 297. — Soulèvements des temps historiques, page 298. — Age des soulèvements, page 304. — Soulèvements centraux, ou cratères de soulèvements, page 307. — Soulèvements linéaires, p. 314. — Considérations générales sur la théorie des volcans et des soulèvements, page. 323. — Sur quelques actions chimiques, dépendantes de la chaleur centrale, page 333. — Des filons en général, page *ib.* — Filons d'injection, p. 354. — Filons de dépôt, page 358. — Origine des filons de dépôt, page *ib.*

FONTAINE. Synonyme de *source*.

FOSSILE. Corps organisé, enfoui dans les différentes couches du globe, page 113. — Nature minérale des fossiles, page 116. — Leur gisement dans les couches, page 117. — Leur distribution, page 118.

FORMATION. Ensemble de couches ou de terrains déposés pendant des circonstances semblables, et sans interruption, page 113.

FRAGMENTAIRE. Qui peut se réduire facilement en fragments. — *Roche fragmentaire*. Celle qui paraît composée de fragments plus ou moins volumineux, de même nature ou de

nature différente, et réunis par un ciment.

FUMEROLE ou **FUMAROLLE**. Crevasses du sol desquelles s'échappent des gaz, de la fumée ou de la vapeur d'eau.

G.

GALET. Fragment de roche arrondi par le frottement et transporté par les eaux.

GANGUE. Minéral enveloppant celui que l'on recherche ou que l'on exploite. C'est en général la matière pierreuse, qui enveloppe les métaux dans les filons.

GEISER, page 213.

GÉODE. Masse minérale creusée à l'intérieur et tapissée de cristaux. Cavités des roches, garnies de cristaux.

GÉOGÉNIE (de γῆ terre et γένεσις produire). Étude de la création de la terre et des causes qui ont présidé à l'arrangement et à la structure des roches et des matériaux dont elles sont composées.

GÉOGNOSIE (de γῆ terre et γνώσις connaissance). Étude de la terre et principalement de ses roches, de leur structure et de leur composition; de leur arrangement et de leur superposition. C'est en quelque sorte la géologie positive en faisant abstraction des diverses hypothèses dont s'occupe plus spécialement la *Géogénie*.

GÉOLOGIE (γῆ terre et λόγος discours). Étude de la terre dans le sens le plus étendu, comprenant à la fois la *Géognosie* et la *Géogénie*. P. 97.

GÉONOMIE (γῆ terre, νόμος loi). Étude des lois qui président aux changements qui s'opèrent ou se sont opérés à la surface du globe.

GISEMENT. Manière d'être d'un minéral dans le sein de la terre.

GITE. Gisement des matières que l'on exploite pour l'industrie. Voyez **FILONS**, **AMAS**.

GLACE. Eau solide ou cristallisée, page 79. — Glaces accidentelles, *ib.* — Glaces polaires, page 89. — Nature de la glace polaire, p. *ib.* — Son aspect et son origine, page *ib.* — Situation des glaces polaires, page 92. — Leurs mouvements, page 93. — *Glace*. Son action destructrice et créatrice, page 172.

GLACIER. Amas de neige endurcie, qui reste pendant toute l'année sur les montagnes, p. 87.

GLACIÈRE. Cavité naturelle du sol, dans laquelle la glace se forme ou se conserve.

GLAUCONIE. **BRONGNIART** (*Craie chloritée*).

Roche à texture grenue, composée de calcaire et de grains verts.

GLUCIUM. Corps simple, métallique, obtenu la première fois par **WOLFF**.

GNEISS. Roche de feldspath et de mica, contenant souvent du quartz et offrant plus ou moins la structure schisteuse.

GOLFE. Échancrure plus ou moins profonde du rivage, dans laquelle la mer s'avance. P. 2.

GOMPHOLITE (*Nagelfluhe* ou *poudingue calcaire*). Poudingue à ciment calcaire.

GORGE. Vallée profonde et resserrée, souvent terminée par un cul-de-sac ou bassin.

GOUFFRE. Cavité profonde, à parois presque perpendiculaires, contenant souvent de l'eau et en laissant même échapper. Page 8.

GRANITE. Roche composée de quartz, feldspath et mica.

GRANITOIDE. Qui ressemble au granite, par la structure principalement.

GRAUWACKE. Voyez **PSAMMITE**. Arkose.

GRAVIER. Dépôt d'alluvion, composé de grains moyens, et formant l'intermédiaire entre le sable et les couches de galets.

GRÈS. Roche à texture grenue, composée de grains plus ou moins agglutinés.

GRÈVE. Espace uni et souvent sablé sur le bord de la mer, d'un fleuve ou d'une rivière.

GROTTE. Synonyme de *catene*.

II.

HÉMYLISIEN (ἡμιος demi, λύω dissoudre). Nom donné par **M. BRONGNIART** à des terrains formés en partie par voie de sédiment, et en partie par voie de dissolution chimique.

HÉMITHRÈNE. **BRONGNIART**. Roche composée d'amphibole et de calcaire.

HYALOMICTE. **BRONGNIART**. (*Greisen*, **WILHELM**.) Roche de quartz hyalin et de mica, à texture grenue.

HYDROGÈNE. Corps simple, gazeux, qui entre dans la composition de l'eau et de toutes les matières végétales et animales.

HYDROGRAPHIE. Page 1.

I.

ILE. Terre qui s'élève au-dessus des eaux et qui en est entourée de toutes parts. Page 2.

IMMERGÉ. Plongé sous l'eau. — Opposé d'*émergé*.

IODE. Corps simple, non métallique, découvert en 1815 par Courtois.

IRIDIUM. Métal découvert en 1803 par Tennant.

ISOCHRONÉ (ισος égal, χρονος temps). Qui se fait dans le même temps.

ISOMÈRE. (ισος égal, μέρος partie.) M. de Bonnard nomme ainsi des roches à fragments anguleux, réunis par aggrégation cristalline, et non par ciment.

ISOMORPHISME (ισος égal, μορφή forme). Phénomène découvert par M. Mitscherlich, et qui consiste en ce que des corps composés d'éléments différents, mais d'atomes en nombre égal et combinés de la même manière, affectent la même forme cristalline. Les corps qui peuvent ainsi se remplacer sont appelés *isomorphes*.

ISTHME. Langue de terre qui unit deux continents ou qui réunit une presqu'île au continent. Page 2.

J.

JOVIEN. M. BRONGNIART donne cette épithète à la période *post-diluvienne* qui comprend tous les phénomènes géologiques des temps historiques.

JURASSIQUE. On donne cette épithète à une grande formation de calcaires et de marnes, postérieure au calcaire alpin et aux marnes irisées, mais antérieure à la craie.

K.

KEUPER. Nom allemand des marnes irisées.

KLINGSTEIN. Phonolite. Espèce de trachyte compacte et sonore.

L.

LAC. Amas d'eau douce ou salée plus ou moins étendus. Pages 3, et 30. — Leur classification, page 31. — Leur forme et leur étendue, page 34. — Leur température, page 38. — Composition de leurs eaux, page 36. — Des seiches ou marées des lacs, page 37. — Considérations générales sur leur ancienne étendue, sur l'abaissement de leurs eaux, sur leur disposition étagée, etc., page 41. — Mares, page 30.

LACUSTRE. Formé dans les lacs.

LAGONIS, page 222.

LAGUNE. Flaque d'eau dans un terrain marécageux.

LANDE. Terrain plat, arénacé, souvent stérile.

LAVE. Amas collectif de toutes les matières fondues qui s'échappent des volcans.

LEPTINITE. (λεπτύνω amincir.) *Amanzite*, Gzay; *granatite*, Litzow. Nom donné par Haüy à une variété de feldspath, que son état d'atténuation rend semblable à du grès.

LEUCOSTINE. De λευκός, blanc, et στήλη (Phonolite, klingstein). Roche volcanique à base de pétrosilex, enveloppant des cristaux de feldspath.

LIASIQUE. Terrain dont le lias fait la base.

LIGNITES. Amas de bois décomposés, plus ou moins altérés.

LIMON. Terre alluviale et argileuse, composée de particules très-fines.

LIQUATION. Opération de fusion, pendant laquelle deux corps inégalement fusibles et mélangés peuvent se séparer plus ou moins complètement surtout en se refroidissant. — *Liquation* considérée relativement au refroidissement des roches, page 346.

LITHIUM. Nouveau métal aperçu par Davy.

LYSIEN. (λύω dissoudre.) M. BRONGNIART a désigné ainsi des terrains formés par voie de dissolution chimique.

M.

MACIGNO. Roche d'aggrégation, principalement composée de quartz sableux, de mica et de calcaire. C'est un grès calcarifère.

MAGNESIUM. Métal obtenu par Davy, et qui fait la base de la magnésie.

MANGANÈSE. Métal découvert par Scheele et Gahn en 1774.

MARAIS. Terrains imbibés et couverts d'eau peu profonde, à travers laquelle végètent des plantes ordinairement très-nombreuses. Pages 3 et 39. — Leur étendue, leur influence sur l'état sanitaire des populations, page 39.

MASCARET. Lutte de la marée contre les flots de la Dordogne.

MASSIFS ou roches non stratifiées. — Opposés de couches. Page 109.

MATIÈRES SALINES. Leur origine dans l'eau de la mer et des grands lacs. Page 66.

MÉDITERRANÉ. Qui est enfermé au milieu des terres. *Mer Méditerranée*. Page 2.

MÉLAPHYRE. BRONGNIART. (*Porphyre*, *traporphyr*, Werner.) Roche à pâte d'amphibole pétrosiliceux, empiétant des cristaux de feldspath.

MER. Ensemble des eaux salées répandues à la surface du globe. Pages 3 et 46. — Leur distribution géographique, page 46. — Océan, page 46. — Méditerranée, page 47. — Caspienne, page 48. — Mouvement des mers, p. 46. — Courants, page 48. — Cause des courants, page 55. — Profondeur de la mer, page 59. — Température de ses eaux, page 60. — Leur composition, page 63. — Origine du sel dans l'eau de mer, page 66. — Considérations générales sur les mers, page 68. — Couleurs de leurs eaux, page 74. — Leurs phénomènes, page 77. — Force créatrice des eaux de la mer, page 161. — Action des marées, page 46. — Des vagues, page 163. — Des courants, page 167. — Action réunie des marées, des vagues et des courants, page 168.

MERCURE. Corps simple, métallique, le seul des métaux qui soit liquide à la température ordinaire. Il ne se solidifie qu'à -39° centigrades.

MÉTÉORES AQUEUX. Leur action à la surface du globe, page 139.

MICACÉ. Qui contient du mica.

MICASCHISTE (*Glimmer schiefer*, WERNER, *schiste micacé*). Roche à structure schisteuse, composée de quartz et de mica abondant.

MIMOPHYRE. BRONGNIARD. Roche agrégée, à ciment d'argile, et grains très-distincts de feldspath.

MOLYBDÈNE. Corps simple, métallique, découvert en 1782 par HILM.

MONTAGNE. Élévation du sol plus ou moins considérable. Page 92.

MORAINE. Amas de pierres à l'extrémité des glaciers.

N.

NEPTUNIEN. Qui a une origine aqueuse ; qui a été formé par l'eau douce ou salée, mais principalement par cette dernière. — Se dit des roches, des terrains.

NIKL. Métal découvert en 1751 par CAONSTED.

NID. Amas de matières meubles et friables, de forme irrégulière, peu volumineux, qui sont empaquetés dans l'intérieur des couches.

NITRIFICATION. Formation des nitrates dans les roches poreuses, page 192.

NOEUDS ou **NODULES.** Ce sont des masses sphéroïdales, encore plus petites que les rognons. On en a de fréquents exemples dans la plupart des roches bulleuses. Ils sont rarement le pro-

duit d'une grande action chimique, à moins d'être contemporains de la roche encaissante. Un filon peut en être composé en majeure partie.

NYMPHÉENS. Épithète donnée par M. d'Omalus aux terrains d'eau douce qui contiennent des débris d'animaux analogues à ceux qui vivent encore de nos jours dans ces eaux.

O.

OASIS. Page 103.

OcéAN. Ensemble des eaux qui séparent les continents.

ONDES. Léger mouvement de la surface des eaux, moins considérable que les vagues et les flots. On entend souvent par *ondes* un mouvement partant d'un centre et se propageant par cercles dont l'intensité diminue en s'éloignant.

OOLITIQUE. (*ovus* œuf, *lithos* pierre.) Roche ou terrain composé d'une infinité de petits globules calcaires rapprochés et agglutinés avec ou sans ciment. La structure de chaque globule est concrétionnée.

OPHICALCE. BRONGNIARD. Roche à base de calcaire, avec serpentine, talc ou chlorite.

OPHIOLITE. BRONGNIARD. (*Serpentine* LEONN.) Pâte de serpentine, de talc et de diallage, enveloppant du fer oxydulé.

OPHITE. BRONGNIARD (*Porphyre vert*, *gran porphyre*). Roche à base de pétrosilex amphiboleux, verdâtre, empaquetant des cristaux déterminables de feldspath verdâtre.

Or. Métal connu depuis les temps les plus reculés.

OROGRAPHIE. (*oros* montagne, *γραφειν* décrire.) Partie de la géographie physique, qui traite de la connaissance des montagnes.

OSMIUM. Corps simple, métallique, découvert en 1803 par TENNANT.

P.

PALÉONTOLOGIE. (*palaios* ancien, *logos* être, *logos* discours.) Histoire des êtres anciens. Étude des débris fossiles, qui existent dans les différentes couches du globe.

PALLADIUM. Métal découvert en 1803 par Wollaston.

PEGMATITE. HAUT. (*Granite graphique*, *aplite*. RXR. — *Quarzite*. HAUTALK.) Roche composée de quartz souvent disposé en lignes brisées dans du feldspath lamellaire, qui est la base de la roche.

PÉLAGIEN (πелаγος haute mer.) Qui vit en pleine mer, loin des côtes, qui se trouve à une grande profondeur en pleine mer, qui s'est déposé dans des lieux profonds de la mer, loin de ses rivages.

PÉNÉE (πενες pauvre). Nom donné par M. BRONGNIART et M. D'OMALIUS à certaines paries des terrains de sédiment pauvres en fossiles.

PÉNINSULE. Portion de terre qui s'avance dans la mer, mais qui reste liée au continent par une bande plus ou moins large. Page 2.

PÉPÉRINE ou **PÉPÉRITE**. BRONGNIART. (*Tufa, tufuite, tuf volcanique, pépérino, conglomérat ponceux, tuf basaltique, brecciate trappéenne.*) Roche à texture grenue, composée de grains de téphrine, de wake et de pyroxène.

PÉTRIFICATION. Corps organisé, transformé en pierre pendant son enfouissement dans le sol qui a reçu ses dépouilles.

PÉTROSILEX. DOLOMIRE. Feldspath compacte.

PHONOLITE (*Pierre sonnante*). Espèce de trachyte compacte et sonore.

PHOSPHORE. (φως lumière, φέρω porter.) Corps simple, non métallique, découvert en 1669 par BRANDT.

PHOSPHORESCENCE des eaux. Page 77.

PHTORE (φθορα corruption). Corps simple, radical de l'acide fluorique.

PHYLLADE. D'ARBUSSON. (*Thonschieffer.*) Roche de schiste argileux, micacé.

PIC. Cime d'une montagne quand elle se détache entièrement et atteint seule une certaine élévation.

PISOLITIQUE. Roche dont les grains sont de la grosseur d'un pois.

PLAGE. Portion de terre qui avoisine la mer et s'y plonge en pente douce. Page 2.

PLAINE. Espace uni ou peu montueux et plus ou moins étendu. Pages 100 et 104.

PLATEAU. Plaine élevée ou située à la partie supérieure d'une montagne. Pages 98 et 104.

PLOMB. Métal connu de toute antiquité.

PLUSIAQUE (πλουσιωδης opulent). M. BRONGNIART nomme *terrains plusiaques* ceux des terrains clysmiens, dont on extrait la plupart des métaux et des pierres précieuses.

PLUTONIEN. Produit par le feu. On désigne ainsi l'ensemble des terrains et roches ignés.

PLUTONIQUE. Nom donné par M. BRONGNIART à une classe de terrains qui comprend

ceux qui sont sortis fondus du sein de la terre et se sont épanchés à sa surface.

POECILIEN (ποειλος varié). Nom donné par M. A. BRONGNIART à un groupe de terrains *abyssiques*, comprenant les roches qui ont parmi leurs caractères une coloration variée ou bigarrée.

PORPHYRE. Roche à base de pétrosilex amphiboleux, enveloppant des cristaux plus ou moins distincts de feldspath. Ce nom est plus spécialement réservé aux porphyres rouges. — Voyez ORYCTE et MÉLAPHYRE.

PORPHYRIQUE. On donne cette épithète aux roches qui contiennent des cristaux enveloppés dans une pâte uniforme à la manière des porphyres.

POST-DILUVIEN. On nomme ainsi les terrains formés après le déluge. On applique généralement cette dénomination aux dépôts de l'époque actuelle.

POTASSIUM. Métal découvert en 1807, par DAVY.

POUDINGUE. Roche composée de fragments divers, mais arrondis, liés par un ciment de quartz.

PRÉDOMINANT. On nomme partie prédominante dans une roche composée, le minéral qui, par la quantité, l'emporte sur tous les autres.

PRESQU'ÎLE, page 2. Voyez PÉNINSULE.

PRIMITIF. On nomme ainsi les roches et les terrains qui ne contiennent aucun débris de corps organisés, qui sont formés de roches cristallines, et que l'on supposait créés avant tous les autres.

PROMONTOIRE. Page 2.

PROTÉIQUE. Nom donné par M. BRONGNIART à un groupe de terrains marins qui se présentent sous des aspects si différents, qu'il est quelquefois très-difficile de les reconnaître.

PROTOGYNE. JERIN. Roche composée de quartz, de feldspath, de talc, de stéatite ou de chlorite, remplaçant presque entièrement le mica.

PROZOIQUE (προς avant, ζωη vie). Épithète donnée par M. HEDT aux roches et aux terrains formés avant l'apparition de la vie sur la terre.

PSAMMITE. BRONGNIART (*Sorte de grès, grauwaacke*). Roche grenue, composée de sable quartzueux et de mica, quelquefois cimentée par de l'argile.

PSEPHITE. BRONGNIART (*Grès rudimentaire, Haüy. Todtliedende*). Roche à texture grenue, composée de fragments de schistes divers, de

phyllades, etc., souvent liés par un ciment d'argile ou d'oxide de fer.

PSEUDO-MORPHOSE. On donne ce nom aux formes étrangères que prennent certains minéraux en se substituant, en totalité ou en partie, à d'autres espèces qui peuvent disparaître entièrement.

PSEUDO-VOLCANIQUE. Werner désignait ainsi les roches altérées par les houillères embrasées, et qui ont quelques rapports avec les produits des volcans.

PUITS ARTÉSIENS, page 14. Leur théorie, page *ib.* — Singulière variation dans leur débit, p. 17. — Influence des marées sur la quantité de leurs eaux, page 18.

PUITS NATURELS. Sources situées à une certaine profondeur dans des cavités qui rappellent la forme d'un puits creusé par la main des hommes. Page 8.

PUITS A FEU. Page 257.

PUMITE. *Conidia.* (*Lave ponceuse.*) Trachyte à pâte ponceuse et à cristaux de feldspath frittés.

PUYS. Page 99.

PYROMÉRIDE. *Monteiao.* Roche à base de feldspath et de quartz, enveloppant des sphéroides à structure radiée.

Q.

QUARTZITE. Roche de quartz.

R.

RADE. Page 2.

RAPIDE. Page 5. *Foyes chute d'eau.*

RESCIF. Espèce de ceinture placée près des îles ou du rivage, et souvent formée par des bancs de coraux.

RHODIUM. Corps simple, métallique, découvert en 1805, par Wollaston.

RIVAGES. Page 2.

RIVE. Portion de terre qui longe un cours d'eau. Page 3.

RIVIÈRE. Cours d'eau navigable, qui se jette dans un fleuve ou dans une autre rivière. *Foyes Coras d'eau.* Pages 5 et 18.

ROCHES. Masses minérales, simples ou composées, qui existent en assez grande quantité pour jouer un rôle quelconque dans la structure de la terre.

On voit que les roches diffèrent essentielle-

ment des espèces, en ce qu'elles sont toujours le résultat de l'union de plusieurs espèces en proportions indéfinies, tandis que les espèces sont toujours le résultat de l'union d'un ou plusieurs éléments en proportions définies, et quelquefois aussi de plusieurs espèces chimiques, mais toujours en proportions définies, ce qui donne au produit de cette union des caractères tout à fait différents de ceux des composants. C'est ainsi que deux silicates simples, qui constituent des espèces existant dans la nature, peuvent se réunir en proportions définies, et former une espèce *minéralogique*, qui aura ses caractères et sa formule chimique, tandis que lorsque deux ou plusieurs espèces se réunissent pour former une *roche*, il n'existe jamais de proportions définies; il n'y a pas de combinaison, mais un mélange, et quelquefois tellement grossier, que l'œil peut en reconnaître les composants : exemple le granite. Lorsque les composants sont perceptibles, les roches sont dites *phanérogènes*, pour indiquer l'apparence de leur composition; et lorsqu'ils sont imperceptibles, on les a nommées *adérogènes*, pour indiquer que l'œil ne peut apercevoir leurs parties mélangées. Le *granite* est dans le premier cas, l'*argile* est dans le second.

Quoique le nom de *roches* ne doive s'appliquer qu'à ces mélanges naturels qui se trouvent en grand dans la nature, on l'a étendu aux espèces simples qui se présentent en grand; ainsi le *marbre*, le *fer oxidé*, etc., qui sont de véritables espèces minéralogiques, prennent le nom de *roches*, lorsqu'on les considère dans leurs rapports avec la composition du globe; on ne sait pas alors au juste où sont les limites de cette acception; et telle substance que l'on n'a pas encore trouvée en assez grande quantité dans la nature, pour mériter ce nom, pourra s'y rencontrer bientôt en quantité plus que suffisante pour recevoir cette dénomination : on devrait donc réserver le mot *roche* pour désigner les substances mélangées, quels que soient leur abondance et leurs divers caractères, et ne l'étendre aux espèces minéralogiques que lorsqu'elles se mélangent sous deux états différents, comme dans les porphyres, etc.

Une grande dureté n'est pas, comme on le croit dans le monde, un caractère essentiel aux roches, la plupart le possèdent; mais il en est de très-tendres, comme les argiles, etc.

Dans l'acception la plus générale du mot *roche*, on les distingue en *roches composées*, c'est-à-dire celles qui résultent du mélange mécanique de plusieurs espèces, ou de la même sous deux états différents, et en *roches simples*,

qui sont toujours des espèces minéralogiques.

Les roches composées ont reçu différents noms, d'après leur composition, leur structure, leur état d'aggrégation, etc.

Mais la plupart des coupes ou des espèces que l'on y a faites n'ont pas de limites; elles se confondent et passent souvent de l'une à l'autre, par nuances insensibles, quoique leurs extrêmes soient bien différents. C'est encore un caractère qui les distingue des espèces minérales, qui ne passent jamais de l'une à l'autre.

On emploie, pour reconnaître et décrire les roches, la plupart des caractères dont on se sert pour décrire les espèces minéralogiques; mais il en est quelques-uns qui sont entièrement différents, et qui ne peuvent s'appliquer qu'aux roches composées; telles sont particulièrement la composition et la structure.

Composition. La composition d'une espèce minérale est tout à fait chimique, résultant d'une combinaison, tandis que la composition d'une roche est mécanique ou résultant d'un simple mélange.

On distingue dans cette dernière composition les parties composantes, *essentielle*, *accessoire* et *accidentelles*; ainsi, dans la roche nommée *gneiss*, le feldspath et le mica sont des composants *essentiels*; le quartz est *accessoire*; le grenat, la tourmaline, l'épidote ne sont qu'*accidentels*, parce qu'on ne les rencontre qu'accidentellement dans le *gneiss*.

On nomme partie prédominante le principe qui domine; c'est-à-dire, dont la quantité l'emporte sur celle des autres: ainsi le feldspath est partie prédominante dans un grand nombre de roches. On conçoit qu'il devient insignifiant d'indiquer le principe prédominant d'une roche, quand sa proportion n'est qu'un peu plus forte que celle des autres.

Structure. On ne considère plus, dans les roches composées, l'arrangement des molécules, comme déterminant la structure, mais l'arrangement des parties composantes; en sorte que la structure d'une roche est entièrement différente de celle d'une espèce minéralogique. Il n'y a que certaines roches adalégènes (dont les parties composantes sont trop ténues pour que l'on puisse les distinguer), qui présentent une structure analogue à celle des espèces minérales.

Outre la structure que nous allons examiner, et qui est dite *structure d'aggrégation*, les roches en présentent encore une autre, nommée *structure de disagrégation*, qui tient à la manière dont elles se divisent, et que nous avons examinée en parlant de

la manière d'être des roches dans la nature.

On peut distinguer dans les roches sept espèces de structure d'aggrégation, qui sont les structures *granitoïde*, *porphyroïde*, *amygdaloïde*, *entrelacée*, *arénacée*, *cellulaire* et *irrégulière*.

A. **Structure granitoïde.** Se dit des roches formées de minéraux cristallisés contemporains (c'est-à-dire qui se sont formés et mélangés en même temps), et groupés irrégulièrement, mais avec uniformité, de manière qu'un des minéraux ne se trouve pas en plus grande proportion dans un endroit que dans un autre. Leur cassure est saccharoïde ou grenue; quelquefois les minéraux semblent y être disposés par bandes, c'est la structure granitoïde *rubanée*.

B. **Structure porphyroïde.** Se dit d'une roche formée de plusieurs minéraux ou d'un seul sous deux états différents, dont l'un forme la pâte, et dont l'autre est disséminé en cristaux au milieu de cette pâte, qui est ordinairement compacte, mais qui peut être saccharoïde. Lorsque les cristaux sont du feldspath ou de l'albite, les roches sont dites *porphyriques* ou *porphyres*; mais quand les cristaux sont d'une autre nature, on nomme les roches *pseudo-porphyriques* ou *pseudo-porphyres*.

C. **Structure amygdaloïde.** Se dit des roches qui offrent de petits rognons de substances diverses empâtés dans une masse minérale de nature également variable: parmi ces roches, M. Brochant de Villiers distingue:

1° Celles à noyaux ou rognons contemporains;
2° Celles à noyaux un peu postérieurs ou douteux;

3° Celles à noyaux postérieurs.

1° Dans le premier cas, les noyaux ont une grande tendance à cristalliser; on y remarque tous les passages à la structure porphyroïde. La nature des rognons est la même que celle de la pâte, et ils adhèrent ordinairement si fortement à cette dernière, qu'il est presque impossible de les séparer. Leur intérieur est compacte ou cristallisé; tels sont, par exemple, le *granite orbiculaire de Corse*, dont les noyaux sont formés de couches concentriques, et le *porphyre orbiculaire de Corse*, dont les noyaux cristallins sont formés de rayons divergents vers le centre; c'est à cette structure que M. Brongniart donne le nom de *structure empâtée glanduleuse*, réservant le nom de *structure empâtée amygdaloïde* pour les roches qui contiennent des noyaux non cristallisés, et qui se trouvent rangées dans les deux variétés suivantes.

2° Dans le second cas, les noyaux paraissent avoir été formés un peu après la pâte; ils n'of

front à l'extérieur aucune tendance à cristalliser. Leur forme est aplatie, quelquefois irrégulière ; ils offrent intérieurement une structure cristalline, rarement rayonnée, non concentrique. On n'y observe pas de cavités, et on peut les séparer de la pâte ;

3°. Dans le troisième cas, la pâte est compacte, et quelquefois saccharoïde ; les noyaux ne montrent aucune tendance cristalline à l'extérieur. Ils sont sphéroïdaux ou ellipsoïdes, formés de couches concentriques plus ou moins distinctes ; l'intérieur est souvent tapissé de cristaux dont la pointe est dirigée vers le centre. Il semblerait que la matière qui a formé ces rognons, a filtré postérieurement à travers la pâte, et a tapissé ces cavités couche par couche. Ces noyaux sont souvent des géodes d'agate, dont l'intérieur est tapissé de cristaux d'améthyste.

D. *Structure entrelacée*. Se dit des roches composées de deux substances, dont l'une en petites veines, et l'autre en petites masses, autour desquelles ces veines viennent se contourner. On n'observe guère cette structure que dans certains calcaires de transition, où le calcaire forme les noyaux qui sont enveloppés par des veines d'une substance argilo-talqueuse ; tel est le marbre *campan*, et plusieurs autres. M. Brongniart donne à cette disposition le nom de structure entrelacée amygdaline.

E. *Structure arénacée*. Se dit des roches qui doivent leur existence à des fragments de roches préexistantes, gros ou petits, réunis le plus ordinairement par un ciment ; on donne à ces roches le nom général de *conglomérats*.

Quand les grains sont très-fins, la roche prend le nom de grès ; quand les grains sont gros, elle prend ceux de *poudring* et de *brèche* : *poudring*, si les fragments sont des galets arrondis ; *brèche*, si ce sont des fragments anguleux.

Les poudrings se rapprochent des roches amygdaloïdes ; mais ils en diffèrent par leurs noyaux plus arrondis, et qui ne sont jamais ni lamelleux, ni cristallins, ni rayonnés, ni formés de couches concentriques.

F. *Structure cellulaire*. Se dit des roches qui offrent un grand nombre de vides, comme les *taves*, et plusieurs autres produits volcaniques.

G. *Structure irrégulière*. Se dit des roches formées de deux ou plusieurs minéraux groupés par masses irrégulières, mais dont l'un est toujours cristallisé ; cette structure est rare ; on l'observe dans la roche dite *coral de Corse*, qui est formée de diallage et de jade. La diallage y forme des amas cristallisés, disposés sans unifor-

mité. Tels sont encore quelques marbres mélangés de serpentine. — *Roches*, page 107. — Leur manière d'être dans la nature, page 108. — Leur âge, page 115. — Matières minérales ou débris organiques qui s'y trouvent contenus, page 114.

ROGNONS. Ce sont des amas très-petits qui se trouvent disséminés dans les roches ; ils jouent quelquefois, par rapport à un filon, le rôle que les veines jouent dans un stockwerk. Un filon qui se compose en quelque sorte d'une série de rognons, prend le nom de *filon en chapelet* ou à *rognons*.

RUISSEAUX. Petits cours d'eau, qui se réunissent et finissent par se transformer en rivières. Ce sont les dernières ramifications du réseau hydrographique. Pages 3 et 18.

S.

SABLE. Assemblage de petits grains de quartz dont la grosseur ne dépasse pas celle d'un pois ; au-dessus, c'est du gravier. On étend le nom de sable à toutes les substances minérales, réduites en petits fragments et même à des coquilles brisées.

SALSES. Volcans d'air et de boue. Cônes d'argile donnant lieu à des éruptions périodiques, page 238.

SATURATION. État d'un corps dont les affinités sont satisfaites. De l'eau qui ne peut plus dissoudre de sel en est saturée.

SAUT. Chute d'eau qui a lieu d'un seul jet et qui franchit brusquement un espace assez haut. Page 3.

SAVANE. Grands marais des terres basses des continents, et notamment de l'Amérique.

SCHISTE. On désigne ainsi collectivement toutes les roches qui se divisent facilement en feuillets.

SCHISTEUX. Qui se divise en feuillets plus ou moins épais.

SCORIACÉ. Bulleux et léger, qui a l'apparence d'une scorie.

SECONDAIRE. Werner et la plupart des géologues ont donné cette épithète aux terrains de sédiments qui ont recouvert les terrains de transition, et qui ont été formés après les terrains primitifs, sur lesquels ces derniers se sont déposés.

SÉLÉNIO. Corps simple, métallique, découvert en 1817, par GAHN et BERZELIUS.

SIDÉROCRISTE. BRONGNIART. (*Eisen-glimmer-Schiefer*, Eschw. LAONN.) Roche de fer oligiste micacé et de quartz.

SILEX. Variété de quartz, souvent cariée, et formant alors le *silex meulier*.

SILICIUM. Corps simple, métallique, dont l'oxyde est la substance la plus répandue à la surface du globe.

SODIUM. Métal découvert en 1807, par DAVY.

SOLFATARE. Dégagement de vapeurs sulfureuses. — Volcan éteint, mais manifestant sa puissance par quelques phénomènes.

SOUFRE. Corps simple, non métallique.

SOULÈVEMENTS. page 297. — *Soulèvements des temps historiques*, page 298. — Age des soulèvements, page 304. — Soulèvements centraux, ou cratères de soulèvement, page 307. — Soulèvements linéaires, page 314. — Considérations générales sur la théorie des soulèvements, page 325.

SOURCE. Portion du sol d'où l'eau s'échappe. Synonyme de *Fontaine*. Pages 3 et 5. — Leur volume, page 5. — Leur intermittence et leur jaillissement, page 6. — Leur température, page 9. — Composition de leurs eaux, page 11. — Leur origine, page *ib.* — Puits artésiens, page 14. — Influence du déboisement sur leur produit, page 15. — Leur dépendance des montagnes, page 12. — Sources d'eau douce dans la mer, page 13. — *Sources*. Leur action à la surface du globe, page 140. — *Sources minérales*. Voyez EAUX MINÉRALES.

SPLITE. BAONCHIART. (*Blatterstein*, *Perlstein*, *Mandelstein*, *Schaalstein*.) Roche à base de corneenne, renfermant des noyaux et des veines calcaires, contemporains de la pâte ou qui lui sont postérieures.

STALACTITE (σταλαγή tomber goutte à goutte). Dépôt formé par concrétion, et ordinairement attaché aux parois ou au plafond des cavernes. Page 186.

STALAGMITE. Ce sont les stalactites ou concrétions qui se forment sur le sol, au-dessous des stalactites.

STÉASCHISTE. BAONCHIART. (*Talkschiefer*, *Wanka*, *Laohn*.) Roche à base de talc et à structure schisteuse.

STIGMITE (*Pechstein*, *obsidian-porphyr*, *perlstein-porphyr*.) Roche à base d'obsidienne, renfermant des grains et des cristaux de feldspath.

STOCKWERCK. On désigne sous le nom de Stockwerck, un amas d'une roche quelconque, dans lequel de nombreuses veinules métalliques

sont séparées par des parties interposées de la roche encaissante. Ce sont des amas pénétrés et traversés dans toutes les directions par une quantité de petits filons.

STRATE. Lit, portion d'une couche. On emploie aussi ce terme d'une manière générale pour désigner les diverses assises du sol.

STRATIFICATION. Ensemble des caractères que présente la division des terrains en couches superposées.

STRONTIUM. Corps simple, métallique.

SUBORDONNÉ. Se dit des couches qui sont intercalées dans les terrains, comme parties accessoires, tandis que celles qui les renferment sont beaucoup plus développées et sont les roches dominantes de la formation.

SUPERPOSITION DES TERRAINS. p. 360.

SURFACE EXTÉRIEURE DU GLOBE. page 97.

SYÉNITE. WENNA. *Granitello* de SAURSTRA. *Rapakivi*, WALL. Roche composée de feldspath lamellaire, d'amphibole et de quartz. Le feldspath domine.

T.

TANTALE ou **COLUMBIUM.** Métal découvert en 1811, par HATCHETT.

TELLURE. Métal découvert en 1782, par MULLAR et RAICHENSTEIN.

TEMPÉRATURE DES EAUX MINÉRALES. page 216. — *Température centrale*, page 208.

TÉPHRINE. DALANETHUSA, COROIA. Roche volcanique à base de feldspath ou de labrador, avec petits cristaux de feldspath.

TERRAIN. Ce mot n'a pas d'acception bien définie en géologie. Un terrain est quelquefois l'ensemble de plusieurs formations, et quelquefois plusieurs terrains constituent une seule formation. On doit cependant toujours l'entendre d'un ensemble de roches de même nature ou analogues dont la continuité n'est interrompue que par quelques couches subordonnées. Les géologues se sont beaucoup occupés de la classification des terrains et ont imposé à chacun d'eux des noms qui expriment plus ou moins bien leurs caractères et leur ordre de superposition. Nous n'avons pas cru devoir adopter ces diverses dénominations, et nous nous sommes servis de l'ordre le plus simple. Cependant, pour donner une idée générale de ces diverses classifications, nous rapportons ici un tableau de l'ouvrage de M. de Labèche qui résume les principales et indique les rapports qu'elles ont entre elles. (Voyez le Tableau d'autre part.)

CLASSIFICATION DES TERRAINS

TERRAINS STRATIFIÉS.	TERR. STRATIFIÉS SUPÉRIEURS ou fossilifères.	1. Groupe Moderne.	{ Débris de différentes sortes, produits par les causes qui agissent encore aujourd'hui. <i>Iles madréporiques; Tracertins, etc.</i> } ...
		2. Groupe des blocs erratiques.	{ Blocs de transport, graviers, couvrant des collines et des plaines, où ils paraissent avoir été amenés par des forces plus puissantes que celles qui agissent maintenant. (<i>Groupe provisoire.</i>) } ...
		3. Groupe Supercrétacé.	{ Dépôts de divers genres supérieurs à la craie; tels qu'en Angleterre, le <i>crag</i> , les couches de l'île de <i>Higth</i> , l'argile de <i>Loudres</i> , l'argile plastique; en France, les couches marines et d'eau douce des environs de Paris, etc. } ...
		4. Groupe Crétacé.	{ 1. Craie. — 2. Grès vert supérieur. — 3. Gault. — 4. Grès vert inférieur. — Auxquels il est convenable de réunir : 1. L'argile dite <i>weald</i> . — 2. Le sable de <i>Hasting</i> . — 3. Les couches de <i>Purbeck</i> . } ...
		5. Groupe Oolitique.	{ Terrains désignés ordinairement sous le nom d' <i>Oolite</i> , en y comprenant le <i>Lias</i> . } ...
		6. Groupe du Grès rouge.	{ 1. Marnes rouges ou marnes irisées. — 2. <i>Muschelkalk</i> . — 3. Grès rouge. — 4. <i>Zechstein</i> . — 5. Conglomérat rouge. } ...
		7. Groupe Carbonifère.	{ 1. Terrain houiller. — 2. Calcaire carbonifère. — 3. Vieux grès rouge. } ...
		8. Groupe de la Grauwacke.	{ 1. Grauwacke ou couches épaisses et schisteuses. — 2. Calcaire de la Grauwacke. — 3. Schiste argileux de la Grauwacke, etc. } ...
		9. Groupe Fossilifère supérieur.	{ Différents schistes, souvent entremêlés de réunions de roches stratifiées, semblables à celles qui se rencontrent dans les terrains non stratifiés. } ...
		TERR. STRATIFIÉS INFÉRIEURS ou non fossilifères.	Aucun ordre de superposition déterminé.
TERRAINS NON STRATIFIÉS.	{ Roches Volcaniques, Trappéennes, Serpentineuses, et Granitiques. — Laves anciennes et modernes; <i>Trachyle</i> , <i>Basalte</i> , <i>Grauwacke</i> , <i>Cornéennes</i> , <i>Porphyres pyroxéniques et amphiboliques</i> , <i>Serpentine</i> , roches de <i>diallage</i> , <i>Séinite</i> , <i>Porphyre quartzifère</i> , <i>Granite</i> , etc. } ...		

ÉQUIVALENTS DANS DIFFÉRENTES MÉTHODES.

WERNER perfectionnée.	CONTESSÉ.	D'OMALIUS D'HALLOT, 1850.	BRONGNIART, 1829.	
Alluvion.	Ordre supérieur.	Terrains modernes.	Terrains alluviers et lysiens.	Période Juvénile.
Diluvium et anciennes alluvions.		Terrains tertiaires.	Terrains Clyséens.	
Tertiaires.				
Secondaires.	Ordre supra-moyen. (Super-medial.)	Terrains ammoniens.	Terrains Yzémienés thalassiques.	Période Saturnienne.
	Ordre moyen. (Medial.)		Terrains Yzémienés pélagiques. (Non compris le Lias.)	
	Ordre sous-moyen. (Sub-medial.)	Terrains hémilysiens.	Terrains Yzémienés abyssiques.	
Terrains de transition.			Terrains Hémilysiens.	
Primitifs.	Ordre inférieur.		Terrains Agalysiens.	
Roches rangées parmi les roches stratifiées suivant l'ordre dans lequel on suppose qu'elles se rencontrent.	De même que dans la méthode de Werner.	Terrains pyroclastiques et agalysiens.	Terrains Pyrogènes ou roches volcaniques modernes. Terrains Typhoniens ou roches ignées anciennes.	

TERRAINS, leur âge et leur superposition, page 350. — Terrain originaire ou primaire, page 351. — Terrains de sédiment, page 354. — De sédiment inférieur, page 359. — Groupe inférieur, page *ib.* — Groupe arénacé calcaire, page 360. — Groupe carbonifère, page 363. — De sédiment moyen, page 369. — Groupe du grès rouge, page *ib.* — Groupe du grès bigarré, page 370. — Groupe du Jura, page 371. — Groupe de la craie, page 374. — De sédiment supérieur, page 377. — Étage inférieur, page 378. — Étage supérieur, page 379. — Terrains de transport, page 382. — Alluvions anciennes, page *ib.* — Alluvions modernes, page 383. — Terrain tuffacé, page *ib.* — Terrains d'épanchement ou cristallisés, page 384. — Groupe lavique, page 385. — Groupe basaltique, page 386. — Groupe trachytique, page 387. — Groupe porphyrique, page 388. — Groupe granitique, page 390.

TERTIAIRE. M. d'Omalus nomme ainsi les terrains qui renferment des débris de corps organisés, appartenant à des espèces qui n'existent plus, mais peu différentes de celles qui vivent aujourd'hui.

TERTIAIRE. De troisième époque ou de troisième formation. On donne ce nom à l'ensemble des terrains de sédiment, qui sont au-dessus de la craie. Ce sont les terrains de sédiment supérieurs.

THALASSIQUE (θαλασσιος mer). Épithète donnée par M. BAUGNIAT à une portion de terrains de sédiment, qui sont censés formés sous les eaux de la mer. Ce sont les terrains de sédiment moyens, non compris la craie.

THALWEG. Chemin de la vallée; ligne de plus grande profondeur d'une vallée; cette ligne est presque toujours indiquée par un cours d'eau.

THERMAL (θερμη chaleur). On donne cette épithète aux sources minérales, dont la température est au-dessus de la moyenne du lieu d'où elles s'échappent.

THORIUM. Métal découvert en 1828 par BERZELIUS.

TITANE. Métal découvert en 1794 par KLAPROTH.

TOIT. Partie supérieure d'un filon, d'un banc ou d'une couche.

TRACHYTE. HAUV. (*Nérolite*, Brocchi; *Masegna*, Da Rio.) Roche volcanique, à base de feldspath compacte, grenu ou ponceux, qui empâte des cristaux de feldspath.

TRAPP. Roche noirâtre, à structure fragmen-

taire, se rapprochant du basalte et fondant en noir au chalumeau.

TRAPPITE (Roche de *trapp*). Roche à base de cornéenne, enveloppant du feldspath, de l'amphibole, du mica, etc.

TRAUMATIQUE (τραυμα blessure). Synonyme de fragmentaire.

TREMBLEMENT DE TERRE, page 242.

TRITONEN. M. BAUGNIAT donne cette épithète à un groupe de terrains de sédiment thalassiques, comprenant ceux dans lesquels on trouve des débris d'animaux analogues à ceux qui vivent aujourd'hui dans la mer.

TUF. Pierre poreuse produite par sédiment ou par incrustation. On applique ce nom à divers produits volcaniques, remaniés par les eaux. On devrait le réserver aux travertins poreux.

TUNGSTÈNE. Corps simple, métallique.

TYPHONEN. Épithète donnée par M. BAUGNIAT aux terrains massifs de la période saturnine ou ancienne.

U.

URANE. Métal découvert par KLAPROTH en 1789.

V.

VAGUE. Ondulation produite par les vents à la surface des eaux.

VAKE. Roche à texture terreuse qui accompagne souvent le basalte.

VAKITE. BAUGNIAT. Roche à base de vake, empâtant du mica ou du pyroxène.

VALLÉE. Espace qui sépare deux chaînes de montagnes, page 101. — Leur origine, page 103.

VALLON. Petite vallée.

VANADIUM. Métal découvert en 1830 par SEFSTROM.

VARIOLAIRE. Qui offre des noyaux arrondis, d'une couleur différente de celle du fond.

VARIOLITE (*Amygdaloïde*, *mandelstein*). Pâte de pétrosilex, renfermant des noyaux sphéroïdaux de même nature, mais de couleur différente.

VÉGÉTAUX. Leur influence sur la création des terrains. Page 195.

VEINES. Les terrains stratifiés, comme ceux non stratifiés, sont encore entrecoupés de *veines* ou *petits filons* qui semblent être un diminutif

des filons , en ce qu'ils sont , comme ceux-ci , des masses minérales minces et allongées ; mais ils se bornent à suivre l'étendue d'un fort petit nombre d'assises des formations qu'ils traversent ; souvent même ils sont limités par une seule d'entre elles , et ne dépassent pas le bloc où ils ont pris naissance.

VEINULES. Les veinules sont encore plus petites et plus irrégulières que les veines ; elles serpentent souvent en divers sens : c'est ce caractère qui avait porté Werner à les désigner sous le nom de *Schwarmer* ou *serpentaux*. On en a de fréquents exemples dans les marbres colorés. Un filon principal peut être lui-même composé de veines et de veinules.

VERSANT. Parties d'une chaîne de montagnes , qui forment les deux côtés d'une vallée , quelle que soit sa largeur. Les deux versants d'une montagne ou d'une chaîne viennent se réunir au sommet , et constituent la ligne de faite.

VOLCANS. Points de communication entre l'extérieur du globe et sa masse interne , page 238. — Leurs éruptions , page 239. — Bruits souterrains , page 260. — Émanations gazeuses , page 261. — Éjections de sables , de cendres , etc. , page *ib.* — Éruptions de lave , page 264. — Marche des courants , page 266. — Température des laves , page 267. — Volume des coulées , page 268. — Quelques phénomènes dépendants des éruptions volcaniques , page *ib.* — Distribution géographique des volcans et leurs caractères particuliers , page 271.

— Bouches volcaniques centrales , page 273. — Volcans dans l'intérieur des continents , page 282. — Chaînes volcaniques , page *ib.* — Considérations générales sur la théorie des volcans , page 325.

VOLCANICITÉ. Action qu'exerce l'intérieur d'une planète sur son extérieur , aux différentes phases de son refroidissement.

VOLCANIQUE. Qui appartient aux volcans.

VULCANIQUE. M. BRONGNIART donne cette épithète aux terrains produits par les volcans anciens , ou du moins qui sont en repos depuis les temps historiques les plus reculés.

W.

WELDIEN. On donne le nom de *terrains weldiens* , par extension d'un nom géographique (l'argile de Weald) , à des atterrissements formés par les eaux douces à leur affluent , et consistant principalement en argile , sables et calcaires pénétrés de débris organiques végétaux.

Y.

YTTRIUM. Corps simple , radical de l'yttria , et obtenu par WOLAN.

Z.

ZINC. Métal connu en Orient de toute antiquité.

ZIRCONIUM. Métal réduit par BRANZLIUS en 1828.

EXPLICATION

DES

FIGURES.

PLANCHE I. — *Figure 1.*

Elle offre la coupe d'un bassin comblé par un dépôt de sédiment, dans lequel on distingue deux sortes de couches. Les couches AAA, imperméables à l'eau, et les couches BBB qui sont poreuses et susceptibles de s'imbiber. Comme la tranche de ces différentes couches est redressée contre le bassin, et plus élevée que le niveau de la plaine, il en résulte que l'eau qui pénètre dans l'intérieur est comprimée entre les couches imperméables, et tend à s'échapper par les différents trous de sondes C D E F, qui ont été pratiqués dans la plaine, et qui atteignent les différentes nappes d'eau souterraines de ce bassin. Les lignes ponctuées indiquent la hauteur du jaillissement qui est d'autant plus grand qu'on atteint des couches plus redressées.

Figure 2.

Théorie des fontaines intermittentes. Coupe d'un terrain renfermant une cavité C avec des fissures FFF, qui amènent de l'eau de la surface du sol. Cette eau s'y rassemble, et remplit peu à peu cette cavité. Une fissure recourbée O.-S.-E., communique avec l'extérieur, et laisserait de suite échapper l'eau si elle avait la direction O.-E. Mais elle fait le coude S qui l'élève au-dessus de la partie supérieure de la cavité. L'eau ne peut donc pas s'en échapper; mais quand elle a atteint la ligne d'élévation A. B., elle coule par la branche du siphon, qui, dépassant la ligne DD, qui indique le fond de la cavité, la vide entièrement. Il faut alors qu'elle s'emplisse de nouveau jusqu'à la ligne AB, avant de se vider une seconde fois, et ainsi de suite.

Figure 3.

Fontaine de Vaucluse. Exemple de cours d'eau souterrain, s'échappant tout à coup avec une extrême abondance, et formant une source considérable. Elle varie selon les saisons, et formait, selon toute apparence autrefois, un lac dont les bords sont indiqués par les grands escarpements que l'on voit régner tout autour.

Figure 4.

Vue d'un des lacs volcaniques de Daun, dans l'Eifel, prise de l'un des sommets de la circonférence, par M. Reynaud. Les eaux n'ont aucune issue, et pourraient encore s'élever considérablement avant de trouver un conduit pour se verser dans la vallée. Beaucoup d'autres lacs en Italie, en Allemagne et en Auvergne, occupent comme celui-ci des cratères ou de vastes cavités sans issues.

Figure 5.

Morceau de glace fibreuse, composée d'une infinité de petits prismes hexagonaux, dont les sommets hexaèdres se dessinent à la surface. Cette structure, comme la plupart de celles que l'on observe dans la glace, ne peuvent être remarquées qu'au dégel.

Figure 6.

Glace en gros tubes hexagonaux, creux dans l'intérieur, et composés eux-mêmes d'une infinité de petits prismes hexagonaux solides. Cette cristallisation résulte de la condensation de la

vapeur d'eau sur des parois peut refroidies.

Figure 7.

Structure de la glace des cascades où de celle qui se forme par la superposition de gouttes nombreuses, qui viennent se glacer sur les corps voisins. Cette structure, que l'on distingue rarement avec netteté, prouve que les gouttelettes, en se seignant, peuvent prendre une structure radiée, comme certains grains de grésil. Cette glace est toujours très-solide, mais à surface raboteuse.

Figure 8.

Coupe d'une stalactite de glace, indiquant sa structure intérieure et son mode d'accroissement. On remarque la même structure dans les stalactites de chaux carbonatée.

PLANCHE II. — *Figures 9 et 10.*

Plan et coupe de la grotte de Miremont (Dordogne), par Bremontier. Cette grotte a été étudiée avec beaucoup de soin sous le rapport topographique. Nous ne donnons même qu'une partie des coupes qui ont été prises dans vingt-sept endroits. Leur ensemble fait voir que cette grotte présente très-peu de ces grandes variations de niveau, et c'est au point I qu'est son plus grand écartement de cette ligne; il n'est que de 10 mètres au-dessous du niveau de l'ouverture, marqué O sur le plan; et dont le niveau est indiqué sur les coupes par la ligne OO. Cette ouverture est sur le penchant d'une colline, dont la pente est très-douce. On remarquera que les largeurs des galeries de cette grotte diffèrent peu l'une de l'autre, à l'exception de celle qui est marquée K, et qui semble être une fissure plutôt qu'une galerie; les hauteurs de ces galeries paraîtraient présenter plus de différences, si l'on compare celle du point I et du point B; mais ce dernier point est le seul des vingt-sept coupes, qui présente un si grand resserrement sur la hauteur; dans quatre autres points dont nous n'avons pas donné les coupes, le plafond n'est qu'à deux ou trois mètres du plancher. Il ne paraît pas qu'on ait découvert dans cette grotte aucun reste d'animaux, comme on en trouve si souvent, et si abondamment dans plusieurs grottes et cavernes de l'Allemagne et de l'Angleterre.

Figure 11.

Coupe transversale d'une caverne à ossements.

Des stalactites d'albâtre descendent du plafond de la caverne, et des stalagmites couvrent une partie du fond ou s'étendent sur ses parois. Une couche de limon occupe la partie inférieure de la grotte, et des débris d'animaux gisent au milieu de ce dépôt.

Figures 12 et 13.

Exemples de roches granitiques situées près des îles Shetland, et auxquelles l'action continue des eaux de la mer a donné les formes les plus bizarres; le docteur Ilbert en a publié les dessins.

Figure 14.

Transport des blocs erratiques. Coupe transversale de la chaîne des Alpes et du Jura. A. Alpes des hauteurs desquelles les blocs sont descendus vers le point B ou le Jura. C. Masse de terrain qui réunissait les deux chaînes, et sur lequel les blocs ont glissé ou ont été entraînés jusqu'en D. Quand le terrain C a été entraîné, les blocs se sont peu à peu abaissés, et sont descendus jusque sur la pente E, où on les rencontre aujourd'hui.

PLANCHE III. — *Figure 15.*

Altération des granites. Exemples recueillis par M. Le Play, à Malpartida en Espagne.

A représente l'état primitif du terrain avant l'altération des roches qui le composent.

B offre les lignes de désagrégation successive ou les couches que le temps et la décomposition doivent faire disparaître.

C présente un état de décomposition plus avancé. Quelques blocs sont encore adhérents au sol en partie décomposé dont ils proviennent.

D fait voir les blocs isolés ou les masses intérieures, qui ont résisté à la décomposition, tandis que tout ce qui les entourait a été dégradé et entraîné.

Figure 16.

Altération des basaltes. Boule remarquable de Langenberg, d'après M. J. Reynaud. Elle offre d'énormes couches concentriques que l'on exploite pour des pavés. On ne voit du reste que la moitié de cette énorme boule.

Figure 17.

Vue de la grotte basaltique de Bertrick, dans l'Eifel, d'après M. J. Reynaud.

Le pécristyle représenté dans le dessin s'ouvre

directement sur le torrent qui se précipite en écumanant dans les rochers. Le faite de cette sorte de monument naturel supporte un pont jeté à une assez grande hauteur au-dessus du torrent. M. Raynaud l'a supprimé, afin de ne point charger inutilement le croquis. Il fait remarquer aussi que les boules ne sont pas exactement uniformes, mais que cependant leurs irrégularités ne sont point assez notables pour être indiquées sans exagération sur une aussi petite échelle.

Figure 18.

Ile de corail de Whitsunday, d'après la gravure du T. II des *Principles of geology* de M. Lyell.

On remarque la forme circulaire de l'île qui renferme une grande lagune d'eau tranquille, tandis que la mer extérieure est agitée. Il semble que les coraux aient bâti sur un cratère.

La coupe qui accompagne cette figure donne une idée bien juste de la forme de cette île dont les coraux extérieurs exposés aux légers brisants des vagues se sont développés plus que les autres.

La ligne horizontale qui s'appuie sur les bords de l'île, indique la partie du sol qui n'est pas submergée et qui, par conséquent, est habitable.

Figure 19.

Cratère du grand Geiser en Islande. Il s'ouvre sur un monticule qu'il a recouvert de ses concrétions siliceuses. On aperçoit au loin, dans la plaine, quelques sources intermittentes qui sont en éruption.

Figure 20.

Vue d'une éruption du Geiser d'Islande.

PLANCHE IV. — Figure 21.

Indication graphique, d'après M. Alex. Brongniart, de la disposition des lagonis et des éruptions de vapeurs aqueuses dans le vallon, au pied de la colline de Monte-Cerboli.

D. Calcaire compacte, gris de fumée, etc., en couches très-inclinées et très-brisées, dans la partie méridionale conduisant à Castel-Nuovo.

D. Indication des débris et éboulements calcaires, vers le vallon des Lagonis.

M. Masse sans structure, formée d'argile boueuse, de schiste marneux, de blocs et fragments calcaires composant le fond de la dépression en forme de bassin, d'où se dégagent avec impétuosité les vapeurs aqueuses et sulfureuses. V. V.

L. Lagonis proprement dits, ou petits lacs, ou mares d'eau boueuse et chaude, que traversent avec impétuosité et violence des vapeurs aqueuses et sulfureuses contenant l'acide boracique.

Figure 22.

Effets des tremblements de terre. Fractions du sol près Jérôme en Calabre, produites par le tremblement de terre de 1783.

Figure 23.

Bassins formés dans le sol et remplis d'eau à leur origine. Ils se formèrent dans la plaine de Rosarno en Calabre, pendant le tremblement de terre de 1783.

Figure 24.

Coupe en forme d'entonnoir d'un des bassins représentés dans la figure précédente.

Figure 25.

Vue du cône du Cotopaxi d'après M. de Humboldt. C'est le plus colossal des volcans connus. Son cône supérieur est entièrement caché sous des neiges éternelles.

Figure 26.

Vue de l'Eyafl, ou volcan d'Ostrafal en Islande, avec les îles Westman en avant. (De Buch.)

Figure 27.

Vue du Monte-Nuovo, cône volcanique qui s'éleva dans la baie de Baia, le 29 septembre 1858.

PLANCHE V. — Figure 27 (bis).

Vue du cratère du Vésuve avant l'éruption de 1767. Le centre est occupé par un petit cône d'éruption qui sert de cheminée au volcan.

Figure 28.

Cette figure et les suivantes sont destinées à représenter les rapports des couches de sédiment avec l'âge des soulèvements. Celle-ci offre un bassin dans lequel se sont déposées des couches de sédiment, qui sont horizontales, et qui, par conséquent, n'ont subi aucun dérangement dans leur stratification.

Figure 29.

Dans cette figure, les couches de sédiment, qui s'étaient déposées horizontalement, ont été relevées par un soulèvement, c'est-à-dire que, dans cet exemple, les couches se redressent contre la chaîne de montagnes A, tandis qu'elles sont restées horizontales contre la chaîne B, ce qui prouve que la chaîne B est plus ancienne que les couches de sédiment, et la chaîne A plus moderne qu'elles, puisqu'elle les a dérangées en sortant.

Figure 30.

Coupe transversale d'une chaîne de montagnes, qui s'est frayé un passage sous des couches de sédiment, qui ont été redressées sur les flancs de la masse soulevée. Le soulèvement est donc plus récent que les couches, puisqu'elles sont redressées.

Figure 31.

L'exemple est le même que dans la figure précédente, mais la matière soulevante s'est un peu déversée sur les couches de sédiment, qui, d'un côté, semblent plonger sous la roche d'épanchement. Cette figure explique plusieurs superpositions de roches granitiques ou porphyriques sur des couches de sédiment.

Figure 32.

Le soulèvement ayant élevé une chaîne de montagnes, de telle manière que les pentes de la portion soulevée sont inégales, comme si elle avait éprouvé un mouvement de bascule, il en résulte que les couches B ont été redressées presque verticalement, tandis que les couches A, moins disloquées et s'appuyant sur une pente plus douce, ont été bien moins redressées, quoique l'ayant été à la même époque.

PLANCHE VI. — *Figure 33.*

Le soulèvement de la masse C a dérangé la stratification des couches AA et BB, qui sont cependant d'âge et de nature différents. Or, puisque les couches BB, qui sont bien plus modernes que les autres, ont été redressées, il s'ensuit que le soulèvement est moderne, et que les couches anciennes AA n'ont été dérangées que longtemps après leur dépôt.

Figure 34.

La montagne D, en se soulevant, a redressé les couches AA, qui primitivement étaient horizontales : donc, elles sont antérieures au sou-

lèvement de la montagne. Mais les couches B et la couche C qui la recouvre sont parfaitement horizontales. Il faut qu'elles aient été déposées après le redressement des couches AA ; sans cela, elles seraient aussi redressées, et elles auraient été atteintes par le soulèvement. Ce dernier a donc eu lieu nécessairement entre le dépôt des couches AA et des couches B. Si l'âge de ces couches est bien déterminé, on connaîtra tout aussi exactement l'âge du soulèvement.

Figure 35.

Dans la figure précédente, la stratification est ce qu'on appelle discordante, puisque les couches horizontales viennent appliquer leurs tranches sur une couche verticale, et cette seule circonstance prouve qu'il y a eu discontinuité de dépôt entre les deux sortes de couches. Le soulèvement a séparé deux époques géologiques. Dans la figure 35, il y a concordance de stratification. Les couches redressées deviennent peu à peu horizontales, ce qui donne lieu de croire que le soulèvement a eu lieu pendant le dépôt, et qu'il ne l'a pas interrompu.

Figure 36.

Coupe verticale du volcan de Jorullo et de la plaine soulevée du Malpais, d'après M. de Humboldt. Toute cette plaine, autrefois cultivée, s'est soulevée tout à coup comme une vessie, en donnant naissance à une multitude de petits cônes basaltiques, qui ont hérissé la surface bombée, et produit le long d'une crevasse, six grandes buttes de scories, au centre desquelles se trouve le volcan de Jorullo, la principale bouche d'émission de cette région volcanique.

Figure 37.

Cette figure et les suivantes indiquent les différents états par lesquels passe un cratère de soulèvement pour devenir complet. Celle-ci n'offre qu'une surface horizontale, au milieu de laquelle, au point A, doit sortir le piton central ou la masse soulevante.

Figure 38.

Coupe verticale du même terrain, dans l'intérieur duquel est figuré comme préexistant, le cône C, qui fait effort pour sortir au point A.

Figures 39 et 40.

Surface horizontale du même terrain quand

l'action soulevante a commencé. Un étoilement a eu lieu à la surface du sol au point A ; les fractures se sont déjà opérées et les vallées de soulèvement sont sur le point d'être formées.

Figures 41 et 42.

Ces deux figures offrent le complément de cette action volcanique. La figure 41 offre le plan d'un véritable cratère de soulèvement, au centre duquel existe le dôme soulevant, qui a fracturé le sol, et formé des vallées larges à leur origine et rétrécies à leurs extrémités.

La figure 42 est une coupe verticale de ce cratère, où l'on voit le dôme central relever et écarter la croûte brisée du sol pour se faire jour.

Figure 43.

Vue du cratère de soulèvement de Ténériffe, d'après M. de Buch.

Figure 44.

Vue du cratère de soulèvement de Santorin. Les îles de Santorin, Therasia et Aspronisi forment le cirque du cratère, tandis que les îles Kameni, qui en occupent le centre, sont la masse soulevante, au moyen de laquelle l'intérieur du globe s'est mis, sur ce point, en communication avec l'extérieur.

La coupe jointe à ce plan donne une idée précise de cette action volcanique.

PLANCHE VII. — *Figure 45.*

Vue des îles Barren près des îles Nicoban. C'est un des cratères de soulèvement les plus réguliers. Le cône central est un volcan actif tout entouré d'eau, et enfermé dans une vaste enceinte dont les bords sont aussi élevés que son sommet.

Figure 46.

Soulèvement sans piton central. Des gaz, en cherchant à se frayer une issue, ont soulevé les terrains sous lesquels ils agissaient et ont occasionné une fissure par laquelle ils se sont dégagés. Les éboulements et les alluvions ont ensuite nivelé le fond de la vallée qui doit sa forme à un soulèvement et à des érosions postérieures.

Figure 47.

Vue du lac Pavin ; grand cirque au milieu

des terrains volcaniques de l'Auvergne, probablement formé par explosion, pendant de violentes commotions, comme les petits cratères-lacs de la Calabre, dont l'origine date du tremblement de terre de 1783.

Figures 48 et 49.

Ces figures représentent la croûte terrestre fracturée par le soulèvement linéaire d'une chaîne de montagnes. Les trois points FFF sont nécessairement beaucoup plus faibles que tous les autres. Ce sont aussi ceux que les volcans VV ont choisis pour se frayer une issue en dehors. C'est à cause de ces fractures que les nœuds volcaniques s'établissent toujours sur la crête des montagnes ou à leur base, c'est-à-dire sur les lignes de fracture.

Dans quelques cas, comme dans la figure 49, des couches de sédiment appliquées comme en C sur la fracture, laissent l'issue plus libre du côté opposé et déterminent l'apparition des volcans sur un point plutôt que sur l'autre.

Figures 51, 52, 53 et 54.

Ces différentes figures sont destinées à donner une idée des filons d'injection ou d'épanchement des roches cristallisées dans celles de sédiment. On voit d'abord, fig. 51, un filon qui traverse une masse de terrain sans arriver au jour, tandis que, par un plus grand effort, il sort et vient affleurer dans la fig. 52. Ce filon peut répandre autour de lui une portion de la matière dont il est composé, ce qui arrive fréquemment pour les filons de basalte, comme on le voit dans la fig. 54. Enfin, il peut être simplement le conduit par lequel des nappes de roches fondues se sont épanchées sur le sol ou se sont intercalées entre les couches, comme on peut le remarquer dans la fig. 54.

Figures 55 et 56.

Exemples de discordance dans la stratification. Couches horizontales appliquées sur des couches inclinées ou contournées, et indiquant par là des phénomènes de bouleversement antérieurs au dépôt des couches horizontales.

Figure 57.

Exemple de croisement de filons ; leur direction dans les mines de Cornouailles.

Le filon AAA est un filon d'étain appartenant à un premier système. Il est coupé en B par le

filon CC, qui est encore un filon d'étain, mais appartenant à un autre système, puisque sa direction est différente, et qu'au lieu de continuer à se diriger en D, il est porté en B, et il pousse jusqu'en F. Là, il est coupé par un filon GH appartenant à un système étranger. Faisons abstraction, pour un moment, du filon LL dont nous n'avons pas encore parlé. Comme on retrouve ordinairement un filon coupé par un autre, du côté de l'angle obtus indiqué dans notre figure par l'ouverture pointillée I, le filon GH devrait se continuer en H, et le filon AA devrait se retrouver en K; mais il est survenu en dernier lieu un filon argileux LL qui, formé postérieurement et appartenant encore à un autre système, a coupé tous les autres et reporté le filon GH en G et le filon AA en A. On voit distinctement par là que le filon AA, coupé partout, appartient au plus ancien système, le filon CC à un autre moins ancien. le filon GH à un système plus moderne encore, et enfin, le filon LL est un résultat du dernier accident qui a dérangé tout cet ensemble.

Figure 58.

On a cherché dans cette figure à donner une idée de l'aspect extérieur du globe à l'époque des dépôts jurassiques.

Le paysage représente un des canaux de l'em-

bouchure d'un grand fleuve qui vient verser ses eaux dans la mer. On remarque à droite et à gauche des escarpements de grès rouge ou de grès bigarré sur lesquels végètent diverses espèces de fougères en arbres, des eucadées, quelques liliacées et quelques conifères. Des plantes aquatiques se développent aussi sur le bord de l'eau, et l'on y voit voltiger des insectes analogues à nos libellules.

Quelques poissons, tels que le *dapedium politum*, et d'immenses reptiles parmi lesquels on distingue l'*ictiosaurus vulgaris*, nagent dans les eaux, sur le premier plan, tandis que, sur le sol, on voit un *iguadon* et un *crocodile*. Sur le bord de l'eau se développe en rayonnant un *apocrinite*; on aperçoit plus loin deux *plesiosaurs*, dont l'un guette une *ammonite*, tandis que l'autre arrête un *ptérodactyle*. Deux de ces derniers animaux sont acrochés sur l'escarpement, à droite; un troisième descend, en volant, pour les joindre. Une troupe de ces reptiles volants s'aperçoit au loin dans les airs. Un *ictiosaurus tenuirostris* est échoué sur la plage, à gauche, derrière un *plesiosaurs*. Il eût été facile de multiplier les espèces de ce singulier tableau; mais c'eût été peut-être trop s'éloigner de la nature que d'en réunir un plus grand nombre.

Cette dernière figure sert de frontispice à l'ouvrage.

SB.N 613632

Fig. 2.

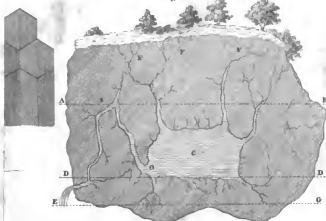


Fig. 7.



Fig. 8.



Fig. 5.

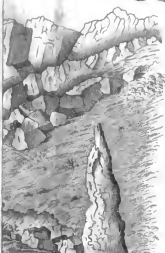


Fig. 12.



Fig. 13.

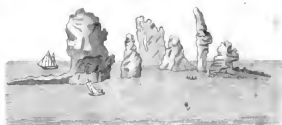


Fig. 14.



rière de Basalte
Ingenberg.



rites de Malpartida.

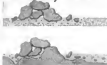


Fig. 17. Grotte de Bertrich.



Fig. 19. Cratère du Getzer d'Iceland.



Fig. 23. Tremblement
de terre de la Calabre.



Fig. 27.

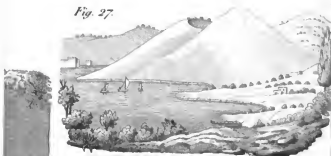


Fig. 26. Volcan d'Eyafjall
(Islande).



Hallerström



* Fig. 27. Bis Cratère du Vésuve avant l'éruption de 1767.



relevé par le télescope de Jorullo en 1750, d'après M. de Humboldt.



Fig. 42

Therapsi Nix Micro Santorin



Fig. 38

A



Fig. 40.



Fig. 44



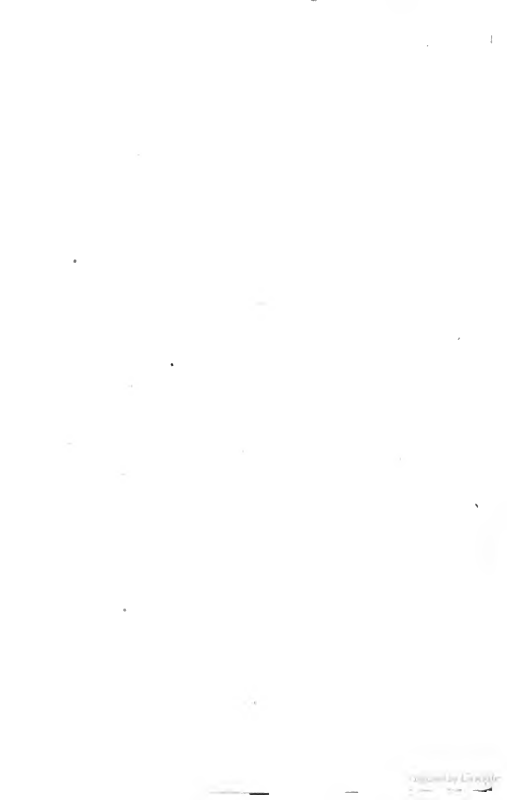




Fig. 54.

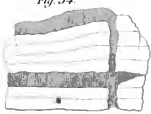


Fig. 55.



Fig. 56.



Fig. 57.

